Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec

Mémoire de recherche forestière n° 160
Direction de la recherche forestière

par
Guy Prégent, Geneviève Picher et Isabelle Auger

Québec

Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec

Mémoire de recherche forestière n° 160

par

Guy Prégent, ing.f., M. Sc.

Geneviève Picher, stat. ASSQ, B. Sc.

et

Isabelle Auger, stat. ASSQ, M. Sc.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2010

Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière (DRF) a pour mandat de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, qui intègrent des préoccupations de recherche fondamentale et appliquée. Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne s'implique pas. Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques et à l'intégration de ces nouvelles connaissances ou savoir-faire à la pratique forestière.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec)
Canada, G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca
Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

© Gouvernement du Québec
On peut citer ce texte en indiquant la référence.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière, du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements du Canada, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

ISSN : 1183-3912
ISBN : 978-2-550-60588-1
ISBN (PDF) : 978-2-550-60589-8
F.D.C. 524(047.3)714
L.C. SD553

Notes biographiques

Guy Prégent est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1980. En 1985, le même établissement lui décerne le diplôme de maître ès sciences (écologie et pédologie forestières). De 1982 à 1987, il est assistant de recherche à la Faculté de foresterie du même établissement. À l'emploi du Ministère depuis 1987, il est d'abord affecté au Service de la régénération forestière, puis, depuis 1992, à la Direction de la recherche forestière, à titre de chargé de recherches sur le rendement et l'éclaircie des plantations.

Geneviève Picher est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 2007. En 2008, elle est engagée, comme contractuelle, pour travailler spécifiquement sur l'élaboration des modèles présentés dans ce mémoire. À l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis 2009, elle travaille au sein de l'équipe de biométrie avec laquelle elle collabore à différents projets de recherche en réalisant les activités d'analyses statistiques.

Isabelle Auger est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 1995. En 1997, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences en statistique. À l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis 1999, elle travaille au sein de l'équipe de biométrie avec laquelle elle collabore à différents projets de recherche en réalisant les activités d'analyses statistiques.

Remerciements

Cette étude utilise des données qui ont été récoltées pendant une période d'une quarantaine d'années. De nombreuses personnes ont contribué à cet important effort et les auteurs veulent leur exprimer ici leur gratitude. En premier lieu, nous tenons à souligner le travail colossal réalisé par les premiers titulaires du projet de recherche sur le rendement des plantations, soit feu M. Hassanali Bolghari et feu M. Valère Bertrand, auteurs des premières tables de rendement pour les plantations au Québec. Notre grande reconnaissance s'adresse également à M. René Kirouac qui a récolté les données de terrain et géré l'imposante banque de données de 1970 jusqu'à sa retraite en 1997. Par la suite, d'autres personnes auxquelles nous offrons nos remerciements ont contribué à l'avancement du projet : MM. Jean-Yves Montambault, Guy Chantal, Conrad Thomassin, Yvon Lévesque, Réjean Poliquin et François Lacombe. Depuis une quinzaine d'années, le mesurage des parcelles dites des effets réels des plantations est effectué par de nombreuses équipes dans toutes les régions administratives du Québec. Compte tenu de leur très grand nombre, il serait difficile de nommer toutes les personnes qui y ont participé. Néanmoins, nous tenons à souligner leur important travail et les en remercier. Nos remerciements vont également à Mmes Sylvie Bourassa et Josianne Martin pour la mise en page du document, à M. Pierre Bélanger et Mme Denise Tousignant pour l'édition ainsi qu'aux examinateurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions.

Résumé

À partir de données recueillies pendant une période d'une quarantaine d'années dans toutes les régions administratives du Québec, nous proposons quatre nouveaux outils pour décrire la croissance et le rendement des plantations d'épinette blanche : un tarif de cubage, une relation entre la hauteur dominante et l'âge, des modèles destinés à la création de tables de rendement ainsi que des modèles de croissance de peuplement. Un tarif de cubage à diamètre et à longueur d'utilisation variables a été établi à partir de l'étude de défilement de 408 tiges. Ce tarif permet d'estimer le volume, avec ou sans écorce, jusqu'à une certaine longueur ou un certain diamètre au fin bout ou entre deux longueurs ou deux diamètres quelconques sur la tige. Il permet également d'estimer le diamètre au fin bout en fonction d'une certaine longueur de billon ou d'estimer la longueur du billon en fonction d'un certain diamètre minimal d'utilisation au fin bout. Par ailleurs, un modèle de croissance reliant la hauteur dominante à l'âge de la plantation est étalonné à partir de 534 observations prises dans 334 parcelles. Aussi, la construction de tables de rendement (678 observations provenant de 421 parcelles) permet l'estimation de la surface terrière, du volume, du diamètre quadratique moyen et du nombre de tiges à partir de la hauteur dominante, de l'âge de la plantation et de l'espacement initial. Ces estimations peuvent être faites sur l'ensemble des tiges (totale), sur les tiges de plus de 9 cm (portion marchande), sur les tiges de plus de 12 cm ou de plus de 15 cm de diamètre. Les modèles de croissance conçus (291 observations provenant de 209 parcelles) fournissent des estimés plus précis que les modèles des tables de rendement. Leur utilisation nécessite toutefois la connaissance du nombre de tiges et de la surface terrière de la plantation. Ainsi, ces nouveaux modèles pourront remplacer les anciennes tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984) pour lesquelles les sous-estimations de rendement étaient importantes.

Mots-clés : Indice de qualité de station, modèles de croissance, *Picea glauca*, plantation, tables de rendement, tarif de cubage.

Abstract

Using data gathered over a forty-year period in every administrative district of Québec, we have developed four new tools for describing the growth and yield of white spruce plantations: a volume table, a relationship between dominant height and age, models for the creation of yield tables, and stand growth models. A volume table with variable diameter and length use was developed from a taper study of 408 stems. This table can be used to estimate the volume, inside or outside bark, up to a given length or a given top diameter, or between two lengths or two diameters located anywhere on the stem. It can also estimate the diameter at the small end in relation to a given log length, or to estimate the length of a log in relation to a given minimum diameter at the small end. In addition, a growth model relating the dominant height to plantation age was calibrated using 534 observations taken in 334 plots. Also, the construction of yield tables (678 observations from 421 plots) allows to estimate basal area, volume, mean quadratic diameter and number of stems, based on the dominant height, plantation age and initial spacing. These estimates can be made on all stems as a group (total), on stems with a diameter greater than 9 cm (merchantable portion), or on stems with a diameter greater than 12 or 15 cm. The designed stand growth models (291 observations from 209 plots) provide more precise estimates than do models for yield tables. Their use, however, necessitates knowing the number of stems and the basal area of the plantation. Thus, these new models may replace the yield tables of Bolghari and Bertrand (1984), which significantly underestimated yield.

Key words: Site quality index, growth models, Picea glauca, *plantation, yield tables, volume table*

Table des matières

page

Résumé v

Abstract vii

Liste des tableaux xi

Liste des figures xiii

Liste des annexes xv

Introduction 1

Chapitre premier – Matériel et méthodes 3

1.1 Tarif de cubage 3

1.1.1 Données 3

1.1.2 Modèles 4

1.1.2.1 Diamètre à hauteur de poitrine 4

1.1.2.2 Hauteur totale et volume total 4

1.1.2.3 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables 5

1.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge 7

1.2.1 Données 7

1.2.2 Modèles 7

1.3 Tables de rendement 8

1.3.1 Données 8

1.3.2 Modèles 10

1.4 Modèles de croissance 11

1.5 Choix et validation des modèles 13

Chapitre deux – Résultats 15

2.1 Tarif de cubage 15

2.1.1 Diamètre à hauteur de poitrine 15

2.1.2 Hauteur totale et volume total 15

2.1.3 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables 15

2.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge 19

2.3 Tables de rendement 19

2.4 Modèles de croissance 19

Chapitre trois – Discussion 25

3.1 Utilisation du tarif de cubage 25

3.2 Utilisation d'une équation de différence pour modéliser la relation entre la hauteur dominante et l'âge 25

3.3 Tables de rendement 25
3.4 Modèles de croissance 26
Conclusion 35
Références bibliographiques 37

Liste des tableaux

page

Tableau 1. Statistiques descriptives des tiges utilisées pour le tarif de cubage 3

Tableau 2. Répartition des tiges du tarif de cubage selon les classes de hauteur et de dhp 3

Tableau 3. Répartition du nombre de parcelles échantillonnées selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge 7

Tableau 4. Statistiques descriptives des variables utilisées pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge des plantations 7

Tableau 5. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles des tables de rendement selon les domaines bioclimatiques 9

Tableau 6. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles de croissance selon les domaines bioclimatiques 12

Tableau 7. Paramètres et erreurs-types (entre parenthèses) des modèles d'estimation de la hauteur, des volumes totaux avec et sans écorce ainsi que le biais et l'erreur obtenus de la validation croisée (valeurs relatives entre parenthèses) 16

Tableau 8. Paramètres et erreurs-types (entre parenthèses) des modèles d'estimation de la proportion des volumes (avec et sans écorce) selon un diamètre variable et une hauteur variable ainsi que le biais et l'erreur obtenus de la validation croisée (valeurs relatives entre parenthèses) 16

Tableau 9. Biais et erreur obtenus de la validation croisée du modèle d'estimation de la croissance de la hauteur dominante aux mesurages deux et trois 20

Tableau 10. Paramètres, erreurs-types (entre paranthèses) et R^2 des modèles des tables de rendement.. 20

Tableau 11. Biais et erreur obtenus de la validation croisée des modèles des tables de rendement (valeurs relatives entre parenthèses) 22

Tableau 12. Paramètres, erreurs-types (entre parenthèses) et R^2 des équations [25], [26] et [27] des modèles de croissance 22

Tableau 13. Biais et erreur obtenus de la validation croisée des modèles de croissance (valeurs relatives entre parenthèses) 23

Liste des figures

page

Figure 1. Schéma d'une tige, codification et signification des variables associées au tarif de cubage 4

Figure 2. Volume total sans écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale 17

Figure 3. Volume marchand d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale 18

Figure 4. Hauteur dominante de l'épinette blanche en fonction de l'âge pour divers indices de qualité de station 21

Figure 5. Comparaison du volume total sans écorce estimé par les tarifs de cubage de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celui de l'étude actuelle 28

Figure 6. Hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation, pour divers IQS, selon les tables de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celles de l'étude actuelle 29

Figure 7. Volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche 30

Figure 8. Dhp quadratique moyen estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche 31

Figure 9. Volume marchand par tige estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche 32

Figure 10. Accroissement annuel moyen en volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche 33

Figure 11. Volume marchand en fonction de l'âge, pour un espacement initial de 2,236 m et divers IQS, selon les tables de rendement de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celles de l'étude actuelle 34

Liste des annexes

page

Annexe A Présentation de la méthode récursive utilisée pour la construction des modèles de croissance 42

Annexe B Abaque d'estimation du volume total (dm^3) sans écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale 43

Annexe C Abaque d'estimation du volume total (dm^3) avec écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale 44

Annexe D Abaque d'estimation de la proportion de volume sans écorce en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout (d) 45

Annexe E Abaque d'estimation de la proportion de volume avec écorce en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout (d) 46

Annexe F Abaque d'estimation du volume marchand (dm^3) d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale 47

Annexe G Abaque d'estimation de la proportion de volume sans écorce en fonction de la hauteur totale de l'arbre et de la longueur apicale rejetée 48

Annexe H Abaque d'estimation de la proportion de volume avec écorce en fonction de la hauteur totale de l'arbre et de la longueur apicale rejetée 49

Annexe I Abaque d'estimation de la hauteur dominante (m) d'une plantation d'épinette blanche en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station 50

Annexe J Abaque d'estimation de la croissance annuelle en hauteur dominante (cm) d'une plantation d'épinette blanche en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station 51

Annexe K Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 4 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare) 52

Annexe L Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 5 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants l'hectare) 54

Annexe M Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 6 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare) 56

Annexe N Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 7 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants l'hectare) 58

Annexe O Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 8 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare) 60

Annexe P Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 9 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare) 62

Annexe Q Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 10 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)..... 64

Annexe R Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 11 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)..... 66

Annexe S Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 12 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)..... 68

Annexe T Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 13 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)..... 70

Annexe U Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 14 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)..... 72

Introduction

L'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) est une espèce présente naturellement dans toutes les provinces et tous les territoires du Canada ainsi qu'en Alaska et dans plusieurs états du nord des États-Unis (Sutton 1973). Elle pousse sur une grande variété de sols et sous des climats variés mais rarement en peuplement pur (Hosie 1978). Les stations propices à cette espèce seraient plus limitées au nord où on la retrouve de façon naturelle uniquement sur des sols bien drainés et fertiles (Sutton 1973).

L'épinette blanche a été utilisée pour le reboisement au Québec à partir de 1907 dans la région de Grand-Mère (Wilson 1913). C'est également à cet endroit, au cours de la période de 1919 à 1932, que l'on retrouve les superficies importantes des premières plantations de cette espèce sur le territoire canadien (Cunningham 1953). La plus vieille plantation de la présente étude provient d'ailleurs de ce programme de reboisement. Selon Ménétrier *et al.* (2005) les conditions favorables en plantation sont les suivantes :

- un drainage bon à modéré (classes 2 et 3);
- des sols à texture loameuse;
- une fertilité du sol moyenne à bonne;
- un pH supérieur à 4.

Au Québec, l'épinette blanche occupe actuellement la troisième place pour le nombre de plants mis en terre annuellement. Compte tenu de sa grande importance pour l'industrie du sciage et des pâtes et papiers ainsi que pour le programme de reboisement, des connaissances sur la croissance et le rendement de ces plantations sont d'un grand intérêt.

L'estimation du volume d'une tige est un élément de base de l'étude de la croissance et du rendement des forêts. Un modèle de régression est nécessaire pour estimer le volume d'une tige à partir de variables dendrométriques. Cette relation, généralement appelée tarif de cubage, est présentée sous la forme d'un tableau, d'un graphique ou d'une équation (Rondeux 1993). Le tarif de cubage est dit à une entrée lorsqu'une seule variable indépendante, habituellement le diamètre à hauteur de poitrine (dhp), est utilisée. Ce tarif est plus simple et plus facile d'utilisation que le tarif à deux ou à trois entrées, mais il est moins précis. Le tarif est à deux entrées lorsqu'une deuxième variable, généralement la hauteur de l'arbre, est ajoutée. Occasionnellement, le tarif est à trois entrées lorsque la hauteur jusqu'à un certain diamètre au fin bout ou le diamètre à une certaine hauteur est ajouté. Bien que plus précis, les tarifs à trois entrées sont peu fréquents puisqu'ils sont plus coûteux à construire et à utiliser (Rondeux 1993). De même, comme la hauteur est une variable relativement coûteuse à mesurer, elle est en général estimée à l'aide du dhp. Par ailleurs, certains tarifs de cubage utilisent des variables supplémentaires basées sur les caractéristiques moyennes du peuplement tel la hauteur dominante ou le dhp des arbres dominants (Ung 1990). L'ajout de ce type de variable au tarif à une entrée permet généralement d'améliorer l'estimation du volume de la tige tout en minimisant les coûts de la prise de mesures.

Les tarifs de cubage permettent généralement d'estimer le volume total d'une tige, soit de la hauteur de souche jusqu'à son extrémité, ou encore le volume marchand, soit de la hauteur de souche jusqu'à un certain diamètre au fin bout. De tels tarifs sont actuellement disponibles pour les principales espèces dites commerciales de la forêt naturelle (Perron 1985, Fortin *et al.* 2007) ainsi que pour les principales espèces résineuses des plantations (Bolghari et Bertrand, document non publié). Compte tenu des besoins variés de longueur et de grosseur des bois que transforme l'industrie, l'utilisation de tels tarifs est contraignante. Par conséquent, l'élaboration de tarifs de cubage à diamètre ou à longueur d'utilisation variable permet d'obtenir des outils d'estimation de volume plus flexibles et adaptés à des besoins variés (Fonweban et Houllier 1997, Roda et Issaly 1998, Thibaut *et al.* 1998). Prégent *et al.* (2001) ont construit un tarif pour le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) lequel sert à estimer le volume total et le volume marchand d'pune tige, avec ou sans écorce, et également le volume entre n'importe quels diamètres ou hauteurs le long de la tige ainsi que la longueur de billon à un certain diamètre au fin bout ou le diamètre au fin bout à une certaine longueur de billon.

La hauteur dominante correspond à la hauteur moyenne d'un nombre sélectionné d'arbres parmi les plus gros ou les plus hauts (Rondeux 1993). Elle est depuis longtemps reconnue comme une excellente variable d'évaluation de la qualité d'une station (Carmean 1975). La loi de Eichhorn, énoncée au début du siècle précédent, établit que le volume spécifique d'un peuplement de structure équienne, monospécifique et de couvert fermé, n'est fonction que de la hauteur dominante (Eichhorn 1904). Même en très bas âge, la hauteur dominante est un des meilleurs indicateurs du potentiel de productivité d'une plantation (Prégent et Végiard 2000, Jansson 2007). La hauteur dominante atteinte à un âge de référence donné est appelée indice de qualité de station. Des courbes d'indices de qualité de station ont été produites pour l'épinette blanche de diverses régions à l'extérieur du Québec, autant pour les forêts naturelles (Gevorkiantz 1957, Kirby 1975, Ker et Bowling 1991, Alemdag 1991) que pour les plantations (Stiell et Berry 1973, Berry 1978, Harding 1982, Carmean *et al.* 2006). Au Québec, les courbes d'indices de qualité de station utilisées jusqu'à tout récemment étaient celles de Pothier et Savard (1998) pour les forêts naturelles et celles de Bolghari et Bertrand (1984) pour les plantations.

Les tables de rendement fournissent des renseignements d'une grande importance aux aménagistes et aux sylviculteurs. Elles peuvent servir notamment à choisir les espacements et les espèces, à planifier les éclaircies et la coupe finale et en estimer les caractéristiques des bois récoltés, à calculer les possibilités annuelles de coupe, à estimer la croissance et à réaliser différentes études économiques. Les tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984) sont celles actuellement utilisées au Québec pour les plantations d'épinette blanche.

Ces tables ont des limites importantes puisqu'elles ont été construites à partir de parcelles temporaires et, de surcroît, les observations provenaient principalement de jeunes plantations situées dans la partie méridionale du Québec. L'ajout de nouvelles parcelles au réseau d'origine a permis d'obtenir une meilleure répartition géographique. De plus, le mesurage quinquennal des parcelles, y compris celles encore disponibles du réseau de Bolghari et Bertrand (1984), a rendu possible l'obtention de données pour des plantations plus âgées et la mise au point de modèles de croissance.

Ainsi, cette étude vise à construire des tarifs de cubage à diamètre et à longueur d'utilisation variables et à bâtir une nouvelle relation entre la hauteur dominante et l'âge. Elle a aussi comme but de fournir de nouvelles tables de rendement pour l'épinette blanche lesquelles permettront d'estimer la surface terrière, le volume, le diamètre quadratique ainsi que le nombre de tiges en fonction de la hauteur dominante, de l'âge de la plantation et de l'espacement initial. L'emploi d'un tarif de cubage à diamètre d'utilisation variable permet d'introduire une nouveauté : la construction de tables de rendement non seulement pour l'ensemble des tiges et celles dont le diamètre est supérieur à 9 cm (portion marchande), 12 et 15 cm. À partir de mesures répétées de parcelles, des modèles de croissance sont également proposés pour obtenir les estimations des caractéristiques d'une plantation au temps t_1 à partir de ces mêmes caractéristiques au temps t_0. La mise au point de modèles de croissance pour cette espèce constitue également une nouveauté.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Tarif de cubage

1.1.1 Données

Les 408 tiges utilisées pour construire le tarif de cubage proviennent de 83 plantations situées dans les forêts décidues et mélangées. Ces plantations ont été établies entre les années 1934 et 1975 avec des plants produits à racines nues et à des densités de reboisement variant de 1 575 à plus de 12 000 plants à l'hectare. Ces plantations étaient âgées de 8 à 56 ans au moment de la prise de mesures. Les arbres mesurés provenaient de toutes les classes de dominance mais aucun arbre fourchu n'a été retenu. Le tableau 1 présente les statistiques descriptives des différentes variables utilisées pour construire le tarif de cubage. La hauteur des arbres varie de 2,2 à 20,8 m et le dhp de 1,5 à 38,4 cm. Aussi, la répartition des tiges selon les classes de hauteur et de dhp est présentée au tableau 2.

Tableau 1. Statistiques descriptives des tiges utilisées pour le tarif de cubage

Variable	n	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
Hauteur (m)	408	2,2	11,2	20,8	4,1
Dhp (cm)	408	1,5	17,0	38,4	6,7
Hauteur dominante (m)	266	3,1	11,0	19,5	3,9
Dhp des dominants (cm)	266	3,4	16,7	26,7	5,6
Volume total avec écorce (dm^3)	408	0,6	177,8	868,3	157,2
Volume total sans écorce (dm^3)	408	0,3	154,0	695,6	142,8

Tableau 2. Répartition des tiges du tarif de cubage selon les classes de hauteur et de dhp

Classe de	Classe de hauteur (m)										
dhp (cm)	[2, 4[	[4, 6[	[6, 8[	[8, 10[	[10, 12[	[12, 14[	[14, 16[	[16, 18[	[18, 20[	[20, 22[	Total
[0, 2[	1										1
[2, 4[	10										10
[4, 6[	5	4									9
[6, 8[		14	3								17
[8, 10[		10	13	1							24
[10, 12[		6	19	7							32
[12, 14[			8	18	2		1				29
[14, 16[			5	10	14	4					33
[16, 18[				3	16	10	1	2			32
[18, 20[				1	8	18	5	2			34
[20, 22[					5	9	6	3			23
[22, 24[				2	0	3	3	3			11
[24, 26[						2	4	2		1	9
[26, 28[							1				1
[28, 30[											0
[30, 32[											0
[32, 34[										1	1
Total	16	34	48	42	45	46	21	12		2	266

Le diamètre avec écorce et l'épaisseur d'écorce sont évalués à différentes hauteurs : 15, 45, 85, 130, 200 cm du sol et par intervalle d'un mètre par la suite. À chacune de ces hauteurs, deux mesures de diamètre et d'épaisseur d'écorce sont prises perpendiculairement et leur moyenne géométrique est ensuite utilisée. Le diamètre et l'épaisseur d'écorce sont mesurés au millimètre près à l'aide d'un compas forestier et d'une jauge d'épaisseur d'écorce respectivement. À partir de 1992, le diamètre a été mesuré à l'aide d'un gallon circonférenciel. La hauteur totale et le niveau de prise de mesure le long de la tige sont évalués au centimètre près avec une règle graduée. Lorsqu'un renflement, un nœud ou une branche empêchait l'évaluation à l'un de ces niveaux, les mesures étaient prises juste au-dessus ou juste au-dessous de la déformation et sa hauteur exacte était notée.

Le cubage des tiges échantillonnées est calculé avec la méthode DÉBUTRONC (DÉSAULNIERS 1989). Le défilement de la tige y est défini par une fonction mathématique entre le rayon du tronc de l'arbre et la hauteur à laquelle ce rayon correspond. L'intégrale de cette fonction permet ensuite d'évaluer le volume entre deux niveaux quelconques le long de la tige. Les volumes avec et sans écorce sont estimés pour un bout apical dont le rayon varie de 0 cm (volume total) jusqu'à un maximum de 18 cm pour les plus grosses tiges (soit 36 cm de diamètre sur écorce) selon un intervalle de 1,5 cm de rayon (ou 3 cm de diamètre). Le volume d'une tige est estimé à partir de la hauteur de souche, fixée à 15 cm au-dessus du plus haut niveau du sol; le volume des branches est exclu. La figure 1 fournit la codification et la signification des variables associées au tarif de cubage.

1.1.2 Modèles

1.1.2.1 Diamètre à hauteur de poitrine

La relation entre le dhp et le diamètre à hauteur de souche peut être utile, notamment pour reconstituer un peuplement après une coupe si seules les souches sont présentes. Un modèle de régression linéaire simple, suggéré par PRÉGENT *et al.* (2001), est utilisé pour estimer le dhp à partir du diamètre à hauteur de souche :

$$dhp_{ik} = \beta_0 + \beta_1 dhs_{ik} + \varepsilon_{ik} \qquad [1]$$

où

dhp_{ik} = Diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre *k* de la parcelle *i* (cm)

dhs_{ik} = Diamètre à hauteur de souche de l'arbre *k* de la parcelle *i* (cm)

β_0, β_1 = Coefficients de régression

ε_{ik} = Erreur résiduelle associée à l'arbre *k* de la parcelle *i*, $\varepsilon_{ik} \sim N(0, \sigma^2)$

Lec coefficients de l'équation [1] sont estimés avec la procédure REG du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004b).

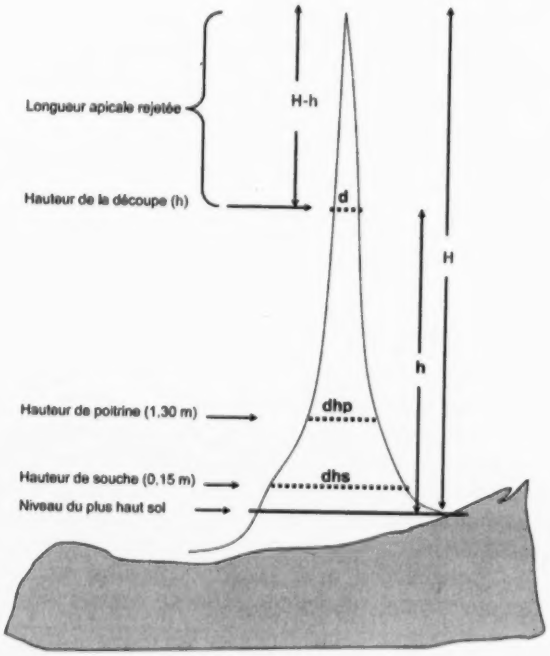

Figure 1. Schéma d'une tige, codification et signification des variables associées au tarif de cubage.

1.1.2.2 Hauteur totale et volume total

La hauteur de l'arbre est une variable plus longue et plus coûteuse à mesurer que le dhp. Elle est rarement mesurée et est estimée généralement à l'aide d'une relation avec le dhp. Une équation asymptotique a été retenue afin de limiter l'estimation de la hauteur lorsque le dhp prend des grandes valeurs. Le choix d'un modèle pour l'estimation du volume total est fait parmi les huit modèles présentés à la section 1.5.1 de PRÉGENT *et al.* (2001). Voici les modèles de hauteur totale et de volume total qui s'ajustent le mieux aux données :

$$H_{ik} = 1{,}3 + \left((H_{100,i} - 1{,}3) \times \left(e^{\beta_0 \left(\left(\frac{1}{dhp_{ik}} \right) - \left(\frac{1}{dhp_{100,i}} \right) \right)} \right) \right) + \varepsilon_{1,ik} \quad [2]$$

$$V_{AE,ik} = \beta_1 dhp_{ik}^{\beta_2} H_{ik}^{\beta_3} + \varepsilon_{2,ik} \quad [3]$$

$$V_{SE,ik} = \beta_4 dhp_{ik}^{\beta_5} H_{ik}^{\beta_6} + \varepsilon_{3,ik} \quad [4]$$

où

H_{ik} = Hauteur totale de l'arbre *k* de la parcelle *i* (m)

$H_{100,i}$ = Hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle *i* (m)

dhp_{ik} = Diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre *k* de la parcelle *i* (cm)

$dhp_{100,i}$ = Dhp moyen des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle *i* (cm)

$V_{AE,ik}$ = Volume total avec écorce de l'arbre *k* de la parcelle *i* (dm^3/tige)

$V_{SE,ik}$ = Volume total sans écorce de l'arbre *k* de la parcelle *i* (dm^3/tige)

$\beta_0, \ldots, \beta_6$ = Coefficients de régression

$\varepsilon_{1,ik}, \varepsilon_{2,ik}, \varepsilon_{3,ik}$ = Erreurs résiduelles associées à l'arbre *k* de la parcelle *i*

L'ajout de la hauteur dominante et du dhp des dominants au modèle de la hauteur totale améliore les estimés (UNG 1990, PRÉGENT *et al.* 2001).

La hauteur se retrouve à la fois comme variable dépendante (pour l'estimation de la hauteur) et indépendante (pour l'estimation du volume). Cela entraîne une corrélation entre les variables explicatives et les termes d'erreur des équations (BEAUMONT *et al.* 1999). Une telle corrélation est contraire à l'hypothèse d'indépendance de la régression par la méthode des moindres carrés et a comme conséquence de biaiser l'estimation des paramètres des équations. La méthode FIML (Full Information Maximum Likelihood estimation) est une technique appropriée pour pallier le problème de dépendance entre les variables explicatives. Elle suppose que les erreurs suivent une distribution normale multivariée ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \sim N_3(0, \Sigma)$), où ε_1, ε_2 et ε_3 sont les vecteurs d'erreurs associés respectivement aux équations de la hauteur, du volume avec écorce, et du volume sans écorce et Σ est la matrice de covariances des erreurs entre les équations. La procédure MODEL du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004a) est utilisée pour estimer les paramètres du système d'équations simultanées. Un facteur de pondération de $1/dhp^3$ est utilisé pour les deux modèles d'estimation du volume total pour tenir compte de l'hétérogénéité de la variance.

1.1.2.3 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables

Afin d'estimer le volume à diamètre d'utilisation variable, le volume total (estimé avec le modèle [3] ou [4] selon qu'il s'agisse du volume avec ou sans écorce) est multiplié par la proportion du volume total (avec ou sans écorce) contenue entre la hauteur de souche et la hauteur correspondant à un diamètre minimal sur écorce au fin bout de valeur « d ». Un modèle doit être construit afin d'estimer la proportion de volume total. La relation entre le rapport *d/dhp* et la proportion de volume total peut être représentée par une fonction non linéaire comme celle utilisée dans PRÉGENT *et al.* (2001). Des tests préliminaires ont montré que ce modèle était biaisé sur les données de cette étude et que d'autres formes de modèles non linéaires étaient tout aussi biaisées. Une autre approche possible aurait été de modéliser la transformation logit de la proportion ((log(*p*/(1-*p*)) où *p* est la proportion du volume total), ce qui aurait permis de contraindre les estimations dans l'intervalle [0, 1]. Toutefois, la relation entre le logit et le diamètre d'utilisation de même que celle entre le logarithme et le diamètre d'utilisation n'ont pas une forme habituelle. Par conséquent, un modèle *spline cubique* (HARRELL 2001) a été testé pour estimer la proportion du volume total (non transformée). Un modèle *spline cubique* est une équation polynomiale du troisième degré dans laquelle des nœuds sont ajoutés afin de modifier la trajectoire de la courbe. Une équation du troisième degré permet à la courbe d'être lisse autour des nœuds. Un tel modèle d'estimation de la proportion du volume total à un diamètre variable, avec trois nœuds, peut être écrit comme suit :

$$P_{ikd} = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{d}{dhp_{ik}}\right) + \beta_2\left(\frac{d}{dhp_{ik}}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{d}{dhp_{ik}}\right)^3$$
$$+(\beta_4 + b_4)I_a\left(\frac{d}{dhp_{ik}} - a\right)^3 + (\beta_5 + b_5)I_b\left(\frac{d}{dhp_{ik}} - b\right)^3$$
$$(\beta_6 + b_6)I_c\left(\frac{d}{dhp_{ik}} - c\right) + \varepsilon_{ikd} \qquad [5]$$

où

P_{ikd} = Proportion du volume entre la hauteur de souche et la hauteur à un diamètre au fin bout *d* pour l'arbre *k* de la parcelle *i*

dhp_{ik} = Diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre *k* de la parcelle *i* (cm)

d = Diamètre au fin bout (cm), $d > 0$

a, b, c = Position des nœuds

$\beta_0, \ldots, \beta_6$ = Coefficients de régression

b_4, b_5, b_6 = Effets aléatoires de la parcelle, $b_4 \sim N(0, \sigma^2_{b_4}), b_5 \sim N(0, \sigma^2_{b_5}),$ $b_6 \sim N(0, \sigma^2_{b_6})$

$$I_a = \begin{cases} 0, d/dhp_{ik} \le a \\ 1, d/dhp_{ik} > a \end{cases}$$

$$I_b = \begin{cases} 0, d/dhp_{ik} \le b \\ 1, d/dhp_{ik} > b \end{cases}$$

$$I_c = \begin{cases} 0, d/dhp_{ik} \le c \\ 1, d/dhp_{ik} > c \end{cases}$$

ε_{ikd} = Erreur résiduelle pour un diamètre au fin bout *d*, de l'arbre *k* de la parcelle *i*, $\boldsymbol{\varepsilon}_{ik} = (\varepsilon_{ik1}, \varepsilon_{ik2}, \ldots, \varepsilon_{ikm_i})$ où m_i correspond au nombre de diamètres au fin bout sur l'arbre *k* de la parcelle *i* et $\boldsymbol{\varepsilon}_{ik} \sim N(0, \mathbf{R}_{ik})$, où $\mathbf{R}_{ik}$ est la matrice de covariances des erreurs entre les diamètres au fin bout de l'arbre *k* de la parcelle *i*

Des tests préliminaires ont démontré que les nœuds ne sont pas nécessaires pour modéliser la proportion de volume (avec ou sans écorce) comprise entre la souche et une hauteur « h ». Elle est donc estimée à l'aide d'un modèle cubique :

$$P_{ikh} = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{H_{ik} - h}{H_{ik}}\right) + \beta_2\left(\frac{H_{ik} - h}{H_{ik}}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{H_{ik} - h}{H_{ik}}\right)^3 + \varepsilon_{ikh} \qquad [6]$$

où

P_{ikh} = Proportion du volume entre la hauteur de souche et la hauteur d'utilisation *h* pour l'arbre *k* de la parcelle *i*

H_{ik} = Hauteur totale de l'arbre *k* de la parcelle *i* (m)

h = Hauteur d'utilisation (m), $h < H_{ik}$

$\beta_0, \ldots, \beta_3$ = Coefficients de régression

ε_{ikh} = Erreur résiduelle pour une hauteur d'utilisation *h*, de l'arbre *k* de la parcelle *i*, $\boldsymbol{\varepsilon}_{ik} = (\varepsilon_{ik1}, \varepsilon_{ik2}, \ldots, \varepsilon_{ikm_i})$ où m_i correspond au nombre de hauteurs d'utilisation sur l'arbre *k* de la parcelle *i* et $\boldsymbol{\varepsilon}_{ik} \sim N(0, \mathbf{R}_{ik})$, où $\mathbf{R}_{ik}$ est la matrice de covariances des erreurs entre les hauteurs d'utilisation de l'arbre *k* de la parcelle *i*

La procédure MIXED du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004b) est utilisée pour étalonner les modèles [5] et [6] et le choix du nombre de nœuds est basé sur la minimisation du critère d'information d'Akaike (AIC). Un effet aléatoire est testé sur chaque paramètre des modèles afin de tenir compte de la corrélation entre les arbres d'une même parcelle. Toutefois, des problèmes de convergence limitent le nombre d'effets aléatoires. Par ailleurs, il existe une corrélation entre les volumes qui proviennent d'un même arbre. Si le volume est mesuré pour un diamètre donné, alors le prochain volume mesuré à un diamètre plus élevé (c'est-à-dire à une hauteur plus basse sur l'arbre) ne peut qu'être inférieur au volume précédent. De plus, les mesures prises sur un même arbre sont inégalement espacées. Le type de structure de corrélation appropriée dans ce cas est une structure autorégressive continue de premier ordre (GRÉGOIRE *et al.* 1995), représentée par la structure SP(POW) de la procédure MIXED et exprimée par le biais de la matrice **R** de l'équation [5] ou [6]. Afin de modéliser l'hétérogénéité de la variance, l'équation [5] est pondérée par le facteur $(d/dhp)^3$.

1.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge

1.2.1 Données

La hauteur dominante est modélisée à l'aide d'un modèle de croissance, aussi appelé équation de différence. La valeur de la variable dépendante correspond à la croissance d'une variable donnée à la fin d'une période. Ainsi, il faut deux mesurages pour obtenir une valeur de croissance, trois mesurages pour en obtenir deux et ainsi de suite. Nous disposons de données provenant de 334 parcelles dont 172 ont une période de croissance, 137 ont deux périodes, 14 ont trois périodes, 9 ont quatre périodes et 2 ont cinq périodes de croissance, ce qui donne un total de 534 observations. La répartition des parcelles selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations est présentée au tableau 3. La superficie des parcelles varie de 0,01 à 0,08 ha et la très grande majorité d'entre elles a une superficie de 0,04 ha. La hauteur dominante utilisée est la hauteur moyenne équivalant aux 100 plus hautes tiges à l'hectare. L'indice de qualité de station est défini comme étant la hauteur dominante à un âge de référence donné. L'âge de référence utilisé est de 25 ans puisqu'il s'approche de l'âge moyen des plantations disponibles de cette étude. Les principales statistiques descriptives des variables du modèle sont présentées au tableau 4. L'âge des plantations en début de période (temps 1) varie de 5 à 56 ans.

1.2.2 Modèles

L'utilisation d'un modèle de croissance pour représenter la relation entre la hauteur dominante et l'âge de la plantation comporte plusieurs avantages. Le modèle de croissance permet d'estimer à la fois la hauteur dominante et l'indice de qualité de station. De plus, lorsque celui-ci est déduit d'une fonction biologique (par exemple le modèle de Chapman-Richards), une seule et unique valeur de Y_1 sera prédite à un temps t_1 donné, et ce pour tout point de départ (t_0, Y_0). Aussi, ce modèle sera invariant au pas de simulation, c'est-à-dire que les projections du temps t_0 à t_1 puis du temps t_1 à t_2 procurent le même estimé final qu'une seule projection faite du temps t_0 à t_2 (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.* 2006).

Tableau 3. Répartition du nombre de parcelles échantillonnées selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge

Domaine bioclimatique	Classe d'âge au premier mesurage (ans)						
	8 à 10	> 10 à 20	> 20 à 30	> 30 à 40	> 40 à 50	> 50	Total
Érablière à tilleul	6	16	33	8	1	1	65
Érablière à bouleau jaune	59	15	10	4	0	0	88
Sapinière à bouleau jaune	46	1	18	11	1	1	78
Sapinière à bouleau blanc	79	1	7	0	0	0	87
Pessière à mousses	16	0	0	0	0	0	16
Total	206	33	68	23	2	2	334

Tableau 4. Statistiques descriptives des variables utilisées pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge des plantations

Variable	n[1]	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
Hauteur dominante au temps 1 (m)	534	0,76	6,73	21,6	5,14
Âge de la plantation au temps 1 (années)	534	5	18,01	56	11,76
Durée entre deux mesurages (ans)	534	1	5,62	23	3,09

[1] Nombre d'observations

Cinq modèles de forme sigmoïdale habituellement utilisés ont été testés : Chapman-Richards, Hossfeld II, Gompertz, Schumacher et Weibull. Ces modèles, de même que la méthode permettant d'obtenir les équations sous forme de modèle de croissance, sont décrites dans BERRILL et HAY (2005). Le modèle de Chapman-Richards, dont le paramètre β_1 est isolé afin de transformer le modèle en équation de différence, est celui qui s'ajuste le mieux aux données. Il peut s'écrire comme suit :

$$H_{100,2,ij} = \beta_0 \left[1 - \left[1 - \left[\frac{H_{100,1,ij}}{\beta_0} \right]^{\frac{1}{\beta_2 + b_2}} \right]^{\frac{A_{2,ij}}{A_{1,ij}}} \right]^{\beta_2 + b_2} + \varepsilon_{ij} \quad [7]$$

où

$H_{100,2,ij}$ = Hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps 2 à la période *j* de la parcelle *i* (m)

$H_{100,1,ij}$ = Hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps 1 à la période *j* de la parcelle *i* (m)

$A_{2,ij}$ = Âge de la plantation au temps 2 à la période *j* de la parcelle *i* (années)

$A_{1,ij}$ = Âge de la plantation au temps 1 à la période *j* de la parcelle *i* (années)

β_0, β_2 = Coefficients de régression

b_2 = Effet aléatoire de la parcelle, $b_2 \sim N(0, \sigma^2_{b_2})$

ε_{ij} = Erreur résiduelle associée au temps 2 à la période *j* de la parcelle *i*, $\boldsymbol{\varepsilon}_i = (\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, ..., \varepsilon_{im_i})$ où m_i correspond au nombre de périodes de la parcelle *i* et $\boldsymbol{\varepsilon}_i \sim N(0, \mathbf{R}_i)$, où $\mathbf{R}_i$ est la matrice de covariances des erreurs entre les périodes de la parcelle *i*

La corrélation entre les périodes de croissance d'une même plantation est prise en compte par l'ajout d'un effet aléatoire de parcelle sur le paramètre β_2. Des tests préliminaires ont démontré que l'effet aléatoire sur le paramètres β_0 n'est pas nécessaire. La procédure NLMIXED du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004b) est utilisée pour étalonner le modèle [7].

Le modèle [7] de la présente étude diffère de celui de BOLGHARI et BERTRAND (1984) de deux principales façons : 1) il utilise l'âge de la plantation plutôt que l'âge total et 2) la hauteur dominante moyenne est mesurée à partir des 100 plus hautes tiges à l'hectare au lieu des 300 plus hautes tiges à l'hectare. Afin de comparer les deux modèles, nous avons effectué les deux conversions suivantes :

• l'âge de la plantation est obtenu en soustrayant quatre années à l'âge total étant donné que les plantations utilisées à cette époque provenaient toutes de plants produits à racines nues dont la durée de production en pépinière était généralement de quatre années;

• la hauteur dominante des 100 plus hautes tiges à l'hectare est estimée à partir de la hauteur des 300 plus hautes tiges à l'hectare à l'aide du modèle de régression linéaire suivant :

$$H_{100,ij} = 0{,}242 + (1{,}086 \times H_{300,ij}) + \varepsilon_{ij} \quad [8]$$

dont l'erreur quadratique moyenne = 0,13 m
R^2 = 99,1 %

où

$H_{100,ij}$ = Hauteur dominante des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle *i* à la période *j* (m)

$H_{300,ij}$ = Hauteur dominante des 300 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle *i* à la période *j* (m)

ε_{ij} = Erreur résiduelle associée à la période *j* de la parcelle *i*, $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

1.3 Tables de rendement

1.3.1 Données

Les plantations ont été sélectionnées à partir des critères suivants :

• une parcelle doit être établie sur une superficie suffisamment grande, tout en ayant au moins deux rangées de bordure en périphérie de la parcelle;

• la composition des épinettes blanches plantées doit constituer au moins 75 % de la surface terrière totale;

• l'étage dominant doit être occupé principalement par les épinettes blanches plantées;

• les arbres doivent avoir été plantés au cours de la même période, un écart maximal de deux ans a été toléré;

• seules les plantations n'ayant bénéficié d'aucune éclaircie commerciale ou fertilisation ont été retenues.

La répartition des 421 parcelles échantillonnées et les statistiques descriptives des différentes variables explicatives selon les domaines bioclimatiques sont présentées au tableau 5. L'érablière à caryer cordiforme et la pessière à mousses sont peu représentées. La plupart des parcelles (75 %) ont une superficie de 0,04 ha et les autres parcelles ont une superficie variant de 0,01 à 0,08 ha. Aussi, 54 % des parcelles sont de forme carrée ou rectangulaire alors que les autres parcelles sont de forme circulaire. Les plantations ont été établies entre les années 1925 et 1992 et elles ont été mesurées entre les années 1970 et 2007 inclusivement. Les plantations sont issues de plants produits à racines nues dans près de 83 % des cas. Les autres plantations sont issues de plants produits en récipients de 45 cavités (14 %) ou de 67 cavités (3 %) et ont été établies après 1983. La répartition des parcelles échantillonnées selon ces divers facteurs reflète bien l'historique du reboisement de l'épinette blanche au cours de cette période.

Les tables de rendement sont construites à partir des modèles de la surface terrière, du volume, du diamètre quadratique moyen et du nombre de tiges.

Tableau 5. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles des tables de rendement selon les domaines bioclimatiques

Variable	Domaine bioclimatique	n[1]	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
Âge de la plantation (années)	Érablière à caryer	2	10	11,00	12	1,41
	Érablière à tilleul	198	10	28,00	61	11,00
	Érablière à bouleau jaune	189	8	24,65	49	11,15
	Sapinière à bouleau jaune	208	8	26,36	58	11,25
	Sapinière à bouleau blanc	79	12	18,99	39	7,42
	Pessière à mousses	2	13	15,50	18	3,54
Hauteur dominante (m)	Érablière à caryer	2	4,35	4,81	5,26	0,64
	Érablière à tilleul	198	3,23	10,99	22,63	4,64
	Érablière à bouleau jaune	189	3,16	9,72	19,70	4,66
	Sapinière à bouleau jaune	208	2,56	9,99	19,78	4,62
	Sapinière à bouleau blanc	79	2,93	7,41	17,13	3,72
	Pessière à mousses	2	4,50	4,95	5,39	0,63
Indice de qualité de station (m à 25 ans)	Érablière à caryer	2	12,36	12,58	12,80	0,31
	Érablière à tilleul	198	6,31	10,01	15,83	1,81
	Érablière à bouleau jaune	189	3,78	10,28	14,39	1,72
	Sapinière à bouleau jaune	208	4,94	9,73	14,22	1,68
	Sapinière à bouleau blanc	79	5,62	10,19	13,09	1,45
	Pessière à mousses	2	8,04	8,99	9,95	1,35
Espacement initial moyen (m)	Érablière à caryer	2	1,84	1,98	2,12	0,20
	Érablière à tilleul	114	1,18	1,89	2,64	0,27
	Érablière à bouleau jaune	101	0,91	1,91	3,05	0,34
	Sapinière à bouleau jaune	153	1,14	1,86	3,54	0,30
	Sapinière à bouleau blanc	49	1,60	2,00	3,29	0,24
	Pessière à mousses	2	1,97	2,02	2,06	0,06

[1] Nombre d'observations pour l'âge de la plantation, la hauteur dominante et l'indice de qualité de station. Nombre de parcelles pour l'espacement initial moyen.

1.3.2 Modèles

Les modèles élaborés permettent de produire les tables de rendement associées à différents diamètres d'utilisation. Des essais préliminaires ont montré que l'introduction du diamètre d'utilisation comme variable explicative dans un modèle causait des problèmes de convergence. En effet, l'utilisation d'une telle variable introduit deux niveaux de corrélation entre les observations. Par exemple, dans le cas du modèle de volume, il y a présence de corrélation entre les volumes d'une même plantation à un mesurage donné (les volumes à différents diamètres d'utilisation), en plus de la corrélation entre les mesurages dans le temps d'une même parcelle pour un diamètre d'utilisation donné. Par conséquent, des modèles de l'estimation de la surface terrière, du volume sans écorce et du diamètre quadratique moyen sont construits séparément pour chacune des valeurs de diamètres : 0 cm (total), 9 cm (marchand), 12 et 15 cm. Le nombre de tiges est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$N_d = \frac{40000 \times G_d}{\pi \times Dq_d^{\,2}} \qquad [9]$$

où

N_d = Nombre de tiges pour un diamètre d'utilisation *d* (/ha)

G_d = Surface terrière pour un diamètre d'utilisation *d* (m²/ha)

Dq_d = Diamètre quadratique moyen des tiges pour un diamètre d'utilisation *d* (cm)

Les 12 modèles (3 variables x 4 diamètres d'utilisation) forment un système d'équations simultanées (c'est-à-dire dont la résolution se fait simultanément). Les modèles sont étalonnés à l'aide de la procédure MODEL du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004a) et de la méthode FIML (présentée à la section 1.1.2).

Les modèles ont une forme sigmoïdale et atteignent une asymptote pour des âges avancés. Après l'essai de différents modèles non linéaires, celui de Chapman-Richards semble le plus prometteur pour la majorité des équations. Le modèle multiplicatif est utilisé pour le volume total tandis que des équations linéaires sont nécessaires pour le diamètre quadratique moyen des arbres dont le dhp est plus grand que 9, 12 et 15 cm respectivement. La hauteur dominante, l'âge de la plantation et l'espacement initial de la plantation sont aussi testés comme variables explicatives afin d'améliorer les estimations. Par ailleurs, il n'a pas été possible de faire converger les 12 équations simultanément. Ainsi, l'étalonnage de chacune des trois variables dépendantes (surface terrière, volume et diamètre quadratique moyen) a été fait séparément. Les trois systèmes d'équations s'expriment comme suit :

$$G_{0,ij} = \beta_{0,0} esp_i^{\beta_{0,1}} H_{100,ij}^{\beta_{0,2}} \left(1 - e^{-(\beta_{0,3} + \beta_{0,4} esp_i) age_{ij}}\right)^{\beta_{0,5}} + \varepsilon_{G_{0},ij} \quad [10]$$

$$G_{9,ij} = \beta_{9,0} G_{0,ij} \left(1 - e^{-\beta_{9,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{9,2}} + \varepsilon_{G_{9},ij} \quad [11]$$

$$G_{12,ij} = \beta_{12,0} G_{9,ij} \left(1 - e^{-\beta_{12,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{12,2}} + \varepsilon_{G_{12},ij} \quad [12]$$

$$G_{15,ij} = \beta_{15,0} G_{12,ij} \left(1 - e^{-\beta_{15,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{15,2}} + \varepsilon_{G_{15},ij} \quad [13]$$

$$V_{0,ij} = \beta_{0,0} H_{100,ij}^{\beta_{0,1}} \times G_{0,ij}^{\beta_{0,2}} \times esp_i^{\beta_{0,3}} + \varepsilon_{V_{0},ij} \quad [14]$$

$$V_{9,ij} = \beta_{9,0} V_{0,ij} \left(1 - e^{-\beta_{9,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{9,2}} + \varepsilon_{V_{9},ij} \quad [15]$$

$$V_{12,ij} = \beta_{12,0} V_{9,ij} \left(1 - e^{-\beta_{12,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{12,2}} + \varepsilon_{V_{12},ij} \quad [16]$$

$$V_{15,ij} = \beta_{15,0} V_{12,ij} \left(1 - e^{-\beta_{15,1} age_{ij}}\right)^{\beta_{15,2}} + \varepsilon_{V_{15},ij} \quad [17]$$

$$Dq_{0,ij} = \beta_{0,0} esp_i^{\beta_{0,1}} H_{100,ij}^{\beta_{0,2}} \left(1 - e^{-\beta_{0,3} age_{ij}}\right)^{\beta_{0,4}} + \varepsilon_{Dq_{0},ij} \quad [18]$$

$$Dq_{9,ij} = \beta_{9,0} + \beta_{9,1} G_{9,ij} + \beta_{9,2} Dq_{0,ij} + \beta_{9,3} Dq_{0,ij}^2 + \varepsilon_{Dq_{9},ij} \quad [19]$$

$$Dq_{12,ij} = \beta_{12,0} + \beta_{12,1} G_{12,ij} + \beta_{12,2} Dq_{9,ij} + \varepsilon_{Dq_{12},ij} \quad [20]$$

$$Dq_{15,ij} = \beta_{15,0} + \beta_{15,1} G_{15,ij} + \beta_{15,2} Dq_{12,ij} + \varepsilon_{Dq_{15},ij} \quad [21]$$

où

$G_{0,ij}$, $G_{9,ij}$, $G_{12,ij}$, $G_{15,ij}$

= Surface terrière de la parcelle *i* au mesurage *j* de tous les arbres, de ceux dont le dhp est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement (m²/ha)

$V_{0,ij}$, $V_{9,ij}$, $V_{12,ij}$, $V_{15,ij}$

= Volume sans écorce de la parcelle *i* au mesurage *j* de tous les arbres, de ceux dont le dhp est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement (m³/ha)

$Dq_{0,ij}$, $Dq_{9,ij}$, $Dq_{12,ij}$, $Dq_{15,ij}$

= Diamètre quadratique moyen de la parcelle *i* au mesurage *j* de tous les arbres, de ceux dont le dhp est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement (cm)

$H_{100,ij}$ = Hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle *i* au mesurage *j* (m)

esp_i = Espacement initial moyen de la parcelle *i* (m)

age_{ij} = Âge de la plantation de la parcelle *i* au mesurage *j* (années)

$\beta_{0,k}, \beta_{9,k}, \beta_{12,k}, \beta_{15,k}$

= Coefficients des équations, $k = 0$ à 5

$\varepsilon_{G_0,ij}$, $\varepsilon_{G_9,ij}$, $\varepsilon_{G_{12},ij}$, $\varepsilon_{G_{15},ij}$

= Erreurs résiduelles associées à la surface terrière de la parcelle *i* au mesurage *j*, $\boldsymbol{\varepsilon}_{G_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_{15}}$ sont les vecteurs d'erreurs des équations 10 à 13 respectivement et $\boldsymbol{\varepsilon}_{G_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{G_{15}} \sim N_4(0, \Sigma_G)$, où Σ_G est la matrice de covariances des erreurs entre les équations 10 à 13

$\varepsilon_{V_0,ij}$, $\varepsilon_{V_9,ij}$, $\varepsilon_{V_{12},ij}$, $\varepsilon_{V_{15},ij}$

= Erreurs résiduelles associées au volume sans écorce de la parcelle *i* au mesurage *j*, $\boldsymbol{\varepsilon}_{V_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_{15}}$ sont les vecteurs d'erreurs des équations 14 à 17 respectivement et $\boldsymbol{\varepsilon}_{V_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_{15}} \sim N_4(0, \Sigma_V)$, où Σ_V est la matrice de covariances des erreurs entre les équations 14 à 17

$\varepsilon_{Dq_0,ij}$, $\varepsilon_{Dq_9,ij}$, $\varepsilon_{Dq_{12},ij}$, $\varepsilon_{Dq_{15},ij}$

= Erreurs résiduelles associées au diamètre quadratique moyen de la parcelle *i* au mesurage *j*, $\boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_{15}}$ sont les vecteurs d'erreurs des équations 18 à 21 respectivement et $\boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_9}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_{12}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_{15}} \sim N_4(0, \Sigma_{Dq})$, où Σ_{Dq} est la matrice de covariances des erreurs entre les équations 18 à 21

La dépendance entre les mesurages dans le temps d'une même parcelle est prise en compte en exprimant le terme d'erreur des équations 10 à 21 au moyen de la structure de corrélation autorégressive continue de premier ordre (CAR(1)). Cela permet de tenir compte des mesurages inégalement espacés dans le temps (GREGOIRE *et al.* 1995). La structure CAR(1) déploie le terme d'erreur de la façon suivante (BARRIO ANTA *et al.* 2006) :

$$\varepsilon_{ij} = \psi_1 \rho^{t_{ij} - t_{ij-1}} \varepsilon_{ij-1} + e_{ij} \quad [22]$$

où

ε_{ij} = Résidu de la parcelle *i* au mesurage *j*

ψ_1 = Variable indicatrice de valeur 0 au premier mesurage et de valeur 1 pour les mesurages subséquents

ρ = Paramètre d'autocorrélation

$t_{ij} - t_{ij-1}$ = Nombre d'années entre les mesurages *j* et $j - 1$ de la parcelle *i*

e_{ij} = Erreur résiduelle sous les conditions d'indépendance et d'homoscédasticité

1.4 Modèles de croissance

La répartition des 291 observations des 209 parcelles échantillonnées et les statistiques descriptives des différentes variables explicatives selon les domaines bioclimatiques sont présentées au tableau 6. L'absence de données pour l'érablière à caryer cordiforme et la pessière à mousses résulte de la rareté des plantations d'épinette blanche dans ces domaines.

Les modèles des tables de rendement et les équations de différence (modèles de croissance) sont dits compatibles si ces dernières sont déduites mathématiquement des premiers (CLUTTER 1963, SULLIVAN et CLUTTER 1972). Si les deux modèles sont compatibles, le modèle de croissance sera invariant au pas de simulation (défini à la section 1.2.2). La compatibilité entre les deux modèles est fortement recommandée afin d'obtenir des résultats logiques (OCHI et CAO 2003). Par contre, la compatibilité vient ajouter une contrainte, laquelle peut diminuer la fiabilité des modèles (OCHI et CAO 2003). En utilisant un modèle de croissance annuelle, le modèle ne sera pas nécessairement compatible mais ses estimés seront invariants au pas de simulation (OCHI et CAO 2003). D'ailleurs, la croissance annuelle est une méthode courante de modélisation de la croissance d'arbres individuels (MCDILL et AMATEIS 1993, CAO 2000).

Des modèles de croissance déduits de fonctions de croissance biologiques ont été testés, mais tous se sont avérés biaisés. Par conséquent, des modèles de croissance annuelle ont été élaborés. La méthode généralement utilisée pour annualiser un modèle est celle qui consiste à diviser l'accroissement observé durant une période par le nombre d'années de la période (BRUCE 1981, AMATEIS *et al.* 1989). Toutefois, cette approche sous-entend que la croissance durant la période est linéaire et selon MCDILL et AMATEIS (1993) et CAO *et al.* (2002), cette approche génère des résultats biaisés. OCHI et CAO (2003) suggèrent une méthode récursive qui génère des résultats moins biaisés qu'une approche faisant appel à un modèle compatible. Cette méthode permet de s'affranchir de l'hypothèse de linéarité. La méthode récursive est donc retenue et est présentée à l'annexe A.

Tableau 6. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles de croissance selon les domaines bioclimatiques

Variable	Domaine bioclimatique	n[1]	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart-type
Âge de la plantation au temps 1 (années)	Érablière à tilleul	84	10	28,87	56	10,52
	Érablière à bouleau jaune	97	8	23,85	44	11,33
	Sapinière à bouleau jaune	68	8	26,10	53	11,73
	Sapinière à bouleau blanc	42	9	16,98	34	7,19
Hauteur dominante au temps 1 (m)	Érablière à tilleul	84	3,23	11,36	21,60	4,60
	Érablière à bouleau jaune	97	3,49	9,37	18,05	4,58
	Sapinière à bouleau jaune	68	3,46	10,28	19,05	4,42
	Sapinière à bouleau blanc	42	3,46	6,77	15,33	3,54
Indice de qualité de station (m à 25 ans)	Érablière à tilleul	84	6,40	9,86	14,34	1,77
	Érablière à bouleau jaune	97	8,11	10,44	14,39	1,52
	Sapinière à bouleau jaune	68	7,73	10,46	14,22	1,36
	Sapinière à bouleau blanc	42	7,25	10,42	12,38	1,28
Durée entre deux mesurages (années)	Érablière à tilleul	84	3	6,42	19	3,88
	Érablière à bouleau jaune	97	3	6,68	20	4,60
	Sapinière à bouleau jaune	68	4	5,46	22	2,52
	Sapinière à bouleau blanc	42	5	5,00	5	0,00

[1] Nombre d'observations.

La croissance de la surface terrière totale, du volume total sans écorce et du diamètre quadratique moyen a été étalonnée à l'intérieur d'un système d'équations simultanées à l'aide de la procédure MODEL et de la méthode FIML (SAS Institute 2004a). La dépendance entre les périodes d'une même parcelle est prise en compte en utilisant la même approche que pour les modèles des tables de rendement, soit en exprimant l'erreur résiduelle avec l'équation [22].

À l'instar de Ochi et Cao (2003), la forme retenue de chacune des équations est l'exponentielle d'une fonction linéaire, ce qui assure des estimés positifs. Les variables explicatives testées (et leurs interactions) sont la hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare, la surface terrière totale, le volume total sans écorce, le nombre de tiges, le diamètre quadratique moyen et l'espacement initial de la plantation. Les équations retenues peuvent être exprimées comme suit :

$$G_{0,i(t+1)} = \exp\left(\beta_0 + \beta_1\left(age_{it}/age_{i(t+1)}\right) + \beta_2\left(age_{it}/age_{i(t+1)}\right)\ln\left(G_{0,it}\right)\right) + \varepsilon_{G_0,i(t+1)} \quad [23]$$

$$V_{0,i(t+1)} = \exp\left(\beta_0 + \beta_1/age_{i(t+1)} + \beta_2\left(age_{it}/age_{i(t+1)}\right)\ln\left(G_{0,it}\right) + \beta_3\hat{H}_{100,it}\right) + \varepsilon_{V_0,i(t+1)} \quad [24]$$

$$Dq_{0,i(t+1)} = \exp\left(\beta_0 + \beta_1\left(age_{it}/age_{i(t+1)}\right) + \beta_2\ln\left(G_{0,it}\right) + \beta_3\left(age_{it}/age_{i(t+1)}\right)\ln\left(G_{0,it}\right) + \beta_4\ln\left(N_{0,it}\right)\right) + \varepsilon_{Dq_0,i(t+1)} \quad [25]$$

où

$G_{0,i(t+1)}$ = Surface terrière totale au temps t + 1 de la parcelle i (m²/ha)

$G_{0,it}$ = Surface terrière totale au temps t de la parcelle i (m²/ha)

$V_{0,i(t+1)}$ =Volume total sans écorce au temps t + 1 de la parcelle i (m³/ha)

$Dq_{0,i(t+1)}$= Diamètre quadratique moyen au temps t + 1 de la parcelle i (cm)

age_{it} = Âge de la plantation au temps *t* de la parcelle *i* (années)

$age_{i(t+1)}$ = Âge de la plantation au temps *t* + 1 de la parcelle *i* (années)

$\hat{H}_{100,it}$ = Hauteur moyenne estimée des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps *t* de la parcelle *i* (m)

$N_{0,it}$ = Nombre total de tiges au temps *t* de la parcelle *i* (/ha)

$\varepsilon_{G_0,i(t+1)}, \varepsilon_{V_0,i(t+1)}, \varepsilon_{Dq_0,i(t+1)}$

= Erreurs résiduelles de la parcelle *i* au temps *t* + 1, $\boldsymbol{\varepsilon}_{G_0}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{V_0}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_0}$ sont les vecteurs d'erreurs des équations [23] à [25], respectivement et $\boldsymbol{\varepsilon}_{G_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{V_0}, \boldsymbol{\varepsilon}_{Dq_0} \sim N_3(0,\Sigma)$ où Σ est la matrice de covariances des erreurs entre les équations [23] à [25]

$\hat{H}_{100,it}$ et $N_{0,it}$ sont calculés directement dans le système d'équations à chaque étape à l'aide des modèles [7] et [9] respectivement.

1.5 Choix et validation des modèles

Les modèles sont sélectionnés en fonction du coefficient de détermination (R^2), de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et des graphiques basés sur les résidus de manière à détecter d'éventuels biais. Les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance sont vérifiées graphiquement.

Aussi, une évaluation des modèles est effectuée afin de vérifier leur fiabilité et leur justesse. La méthode de la validation croisée en *n* groupes est utilisée. Cette méthode consiste à retirer une parcelle de la banque de données puis à étalonner le modèle avec les (*n* – 1) parcelles restantes et ainsi obtenir un nouvel ensemble de paramètres. La valeur estimée est ensuite calculée avec ces nouveaux paramètres pour la parcelle qui a été enlevée. Ces étapes sont répétées pour les *n* parcelles de l'ensemble de données. Le biais et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne de chacun des modèles, appelée *erreur*, sont ensuite calculés comme suit :

$$Biais = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i}\left(y_{ij} - \hat{y}_{ij(i)}\right)}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \qquad [26]$$

$$Erreur = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i}\left(y_{ij} - \hat{y}_{ij(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} m_i}} \qquad [27]$$

où

y_{ij} = Valeur observée pour la mesure *j* de la parcelle *i*

$\hat{y}_{ij(i)}$ = Valeur estimée pour la mesure *j* de la parcelle *i* quand les paramètres du modèle ont été calculés sans utiliser les données de la parcelle *i*

n = Nombre de parcelles

m_i = Nombre de mesurages pour la parcelle i

Des valeurs relatives du biais et de l'erreur sont obtenues en divisant le résultat des modèles [26] et [27] par la moyenne des y_{ij}. La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne est l'erreur associée à l'estimation d'une parcelle tandis que le biais correspond à l'erreur associée à l'estimation de l'ensemble des parcelles. Si le biais est positif, le modèle sous-estimera les observations alors que si le biais est négatif, il aura tendance à surestimer les données observées.

Pour l'évaluation des modèles de croissance, la valeur observée au premier mesurage sert de point de départ à l'application des modèles. Ainsi, l'estimation du deuxième mesurage est effectuée à partir de la valeur observée au premier mesurage, tandis que celle du troisième mesurage est estimée à partir de la valeur estimée au deuxième mesurage, et ainsi de suite pour les mesurages quatre, cinq et six.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Tarif de cubage

2.1.1 Diamètre à hauteur de poitrine

La relation entre le dhp et le diamètre à hauteur de souche décrite par une régression linéaire simple a un R^2 de 97,1 % et une racine carrée de l'erreur quadratique moyenne de 1,15 cm. La valeur des paramètres de l'équation [1] est β_0 = -0,69 et β_1 = 0,8529. L'erreur-type associée à chacun des paramètres est de 0,16 et 0,007 respectivement.

2.1.2 Hauteur totale et volume total

Le tableau 7 présente les paramètres du modèle [2] de l'estimation de la hauteur totale et les paramètres des modèles [3] et [4] de l'estimation des volumes avec et sans écorce ainsi que leur erreur-type et les résultats de la validation croisée. Le modèle d'estimation de la hauteur sous-estime les observations par environ 3 % tandis que les modèles d'estimation des volumes avec et sans écorce sous-estiment les observations par environ 5 %. Ces modèles ont aussi été construits par domaine bioclimatique à l'aide de variables indicatrices afin de déterminer la nécessité de bâtir un modèle propre à chaque domaine. Des tests statistiques montrent que certains paramètres des modèles dépendent du domaine bioclimatique. Toutefois, les estimations obtenues diffèrent peu de celles obtenues avec les modèles sans domaine bioclimatique. La différence absolue moyenne de l'estimation de la hauteur et du volume sans écorce sont de 0,09 m (1,0 %) et 3,6 dm^3 (3,8 %), respectivement. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de construire des modèles propres à chaque domaine. Les résultats du volume sans écorce sont illustrés à l'aide d'un graphique à la figure 2 et sous la forme d'un tableau à l'annexe B. Le volume avec écorce, variable d'utilité moins courante, est présenté à l'annexe C.

2.1.3 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables

Les paramètres du modèle [5] de l'estimation de la proportion des volumes avec et sans écorce à diamètre d'utilisation variable ainsi que leur erreur-type sont présentés au tableau 8. Selon HARRELL (2001), la localisation des nœuds dans un modèle *spline cubique* n'a généralement pas d'importance et il suggère de les placer à des quantiles fixes. Cependant, des problèmes de convergence ont mené à rejeter cette approche. Par conséquent, des emplacements arbitraires des nœuds ont été utilisés et leur position a été déterminée en se basant sur la minimisation du critère d'information d'Akaike (AIC). Ce même critère a aussi permis de déterminer le nombre de nœuds nécessaires pour obtenir un bon ajustement. Il faut aussi noter que les rapports *d/dhp* supérieurs à 1 ont dû être retirés lors de l'étalonnage car il n'a pas été possible de trouver un modèle qui s'ajuste bien à cette portion de la courbe (15 % des observations). Ainsi, le volume peut être estimé seulement pour un diamètre d'utilisation inférieur au dhp. Les estimations obtenues avec ces deux modèles (sans et avec écorce) sont présentées sous forme de tableaux aux annexes D et E. On peut remarquer que les estimations demeurent dans l'intervalle [0, 1].

En multipliant la proportion de volume sans écorce obtenue à l'aide du modèle [5] par le volume total sans écorce obtenu à l'aide du modèle [4], le volume sans écorce de la souche jusqu'à un diamètre au fin bout de valeur « d » est obtenu. Lorsque la variable « d » prend la valeur de 9 cm, on obtient le volume marchand (Figure 3 ou Annexe F). Le volume avec écorce jusqu'à un diamètre au fin bout de valeur « d » est obtenu de la même manière mais en utilisant les coefficients de régression appropriés présentés aux tableaux 7 et 8.

La proportion de volume sans écorce ou avec écorce de la hauteur de souche jusqu'à une hauteur « h » est obtenue par le modèle [6] dont les paramètres sont présentés au tableau 8. Les estimations obtenues de ces deux dernières relations (sans et avec écorce) sont présentées sous forme de tableaux aux annexes G et H. Le volume sans écorce compris entre la hauteur de souche jusqu'à une hauteur « h » est obtenu en multipliant la proportion obtenue à l'aide de la formule [6] par le volume total sans écorce estimé avec l'équation [4]. Le volume avec écorce est obtenu de façon similaire mais en utilisant les coefficients de régression appropriés présentés aux tableaux 7 et 8.

Tableau 7. Paramètres et erreurs-types (entre parenthèses) des modèles d'estimation de la hauteur, des volumes totaux avec et sans écorce ainsi que le biais et l'erreur obtenus de la validation croisée (valeurs relatives entre parenthèses)

Modèle	β_0	β_1	β_2	R^2 (%)	Biais	Erreur-type
Hauteur totale	-8,9760 (0,4298)			93,1	0,33 m (3,4 %)	0,99 m (10,2 %)
Volume total sans écorce	0,0344 (0,0019)	1,8329 (0,0310)	1,1793 (0,0376)	98,5	5,32 dm^3 (5,6 %)	16,18 dm^3 (16,9 %)
Volume total avec écorce	0,0592 (0,0026)	1,8353 (0,0303)	1,0266 (0,0334)	98,9	5,78 dm^3 (5,2 %)	17,47 dm^3 (15,6 %)

Tableau 8. Paramètres et erreurs-types (entre parenthèses) des modèles d'estimation de la proportion des volumes (avec et sans écorce) selon un diamètre variable et une hauteur variable ainsi que le biais et l'erreur obtenus de la validation croisée (valeurs relatives entre parenthèses)

		Diamètre variable		Hauteur variable	
		Sans écorce	Avec écorce	Sans écorce	Avec écorce
Paramètres	β_0	0,9994 (0,0005)	0,9993 (0,0005)	0,9990 (0,0015)	0,9991 (0,0014)
	β_1	0,0159 (0,0091)	0,0169 (0,0089)	0,1121 (0,0085)	0,1101 (0,0078)
	β_2	-0,1071 (0,0522)	-0,1151 (0,0513)	-0,6954 (0,0208)	-0,7695 (0,0191)
	β_3	-0,1322 (0,0952)	-0,1691 (0,0935)	-0,4445 (0,0140)	-0,3665 (0,0129)
	β_4	-0,5895 (0,1067)	-0,5561 (0,1048)		
	β_5	-1,0263 (0,0884)	-0,8694 (0,0868)		
	β_6	-1,8282 (0,3903)	-1,7024 (0,3781)		
Noeuds	a	0,2	0,2		
	b	0,5	0,5		
	c	0,7	0,7		
R^2 (%)		94,2	94,8	99,3	99,4
Biais[1] (dm^3)		-9,09 (-8,2 %)	-9,95 (-7,8 %)	-5,18 (-5,7%)	-5,54 (-5,2 %)
Erreur[1] (dm^3)		23,34 (21,1 %)	25,07 (19,6 %)	14,70 (16,1 %)	15,46 (14,6 %)

[1] Le biais et l'erreur sont obtenus de la validation croisée des volumes à diamètre et hauteur d'utilisation variables, et non de la validation directe des modèles pour estimer la proportion du volume.

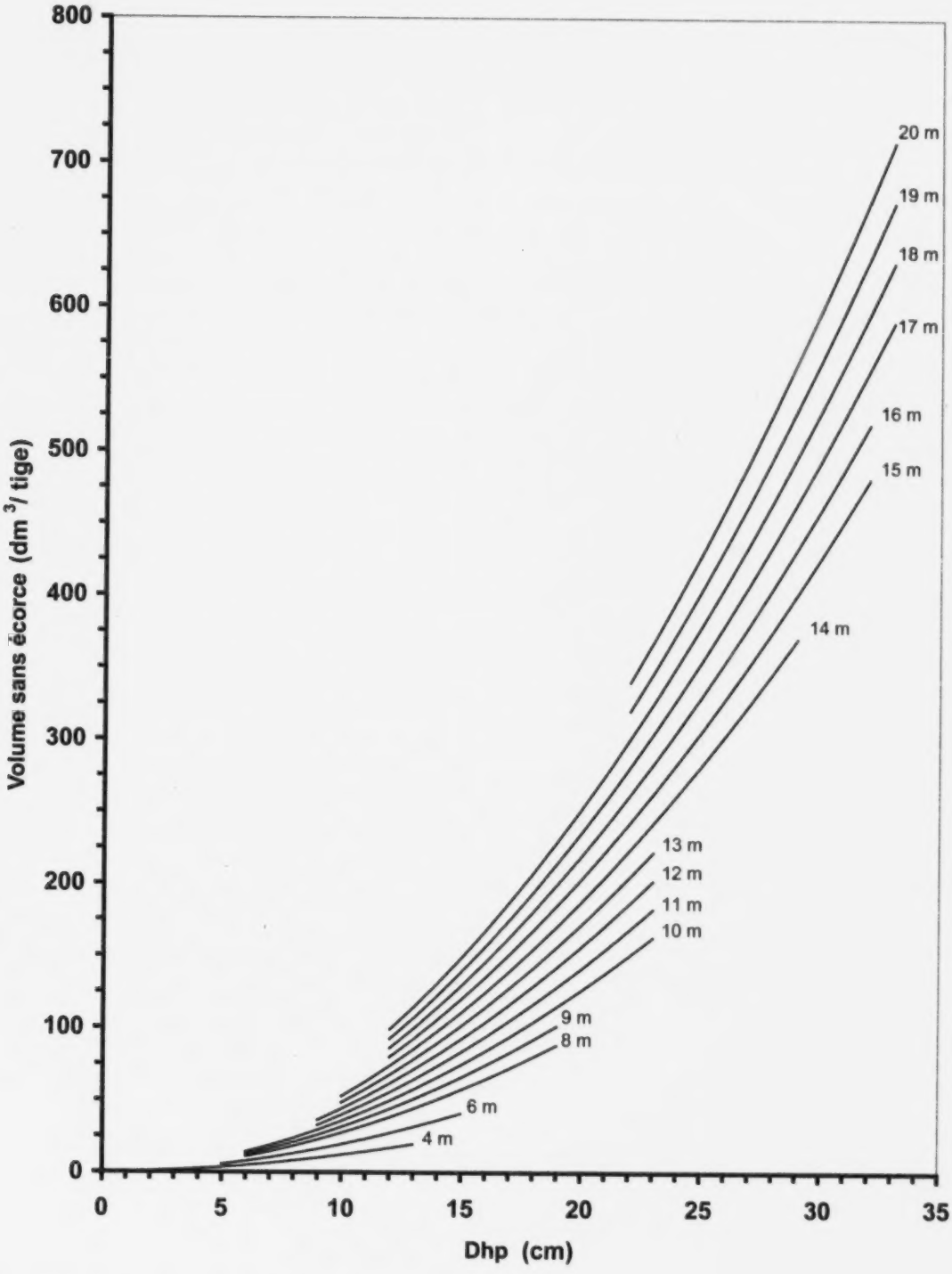

Figure 2. Volume total sans écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale.

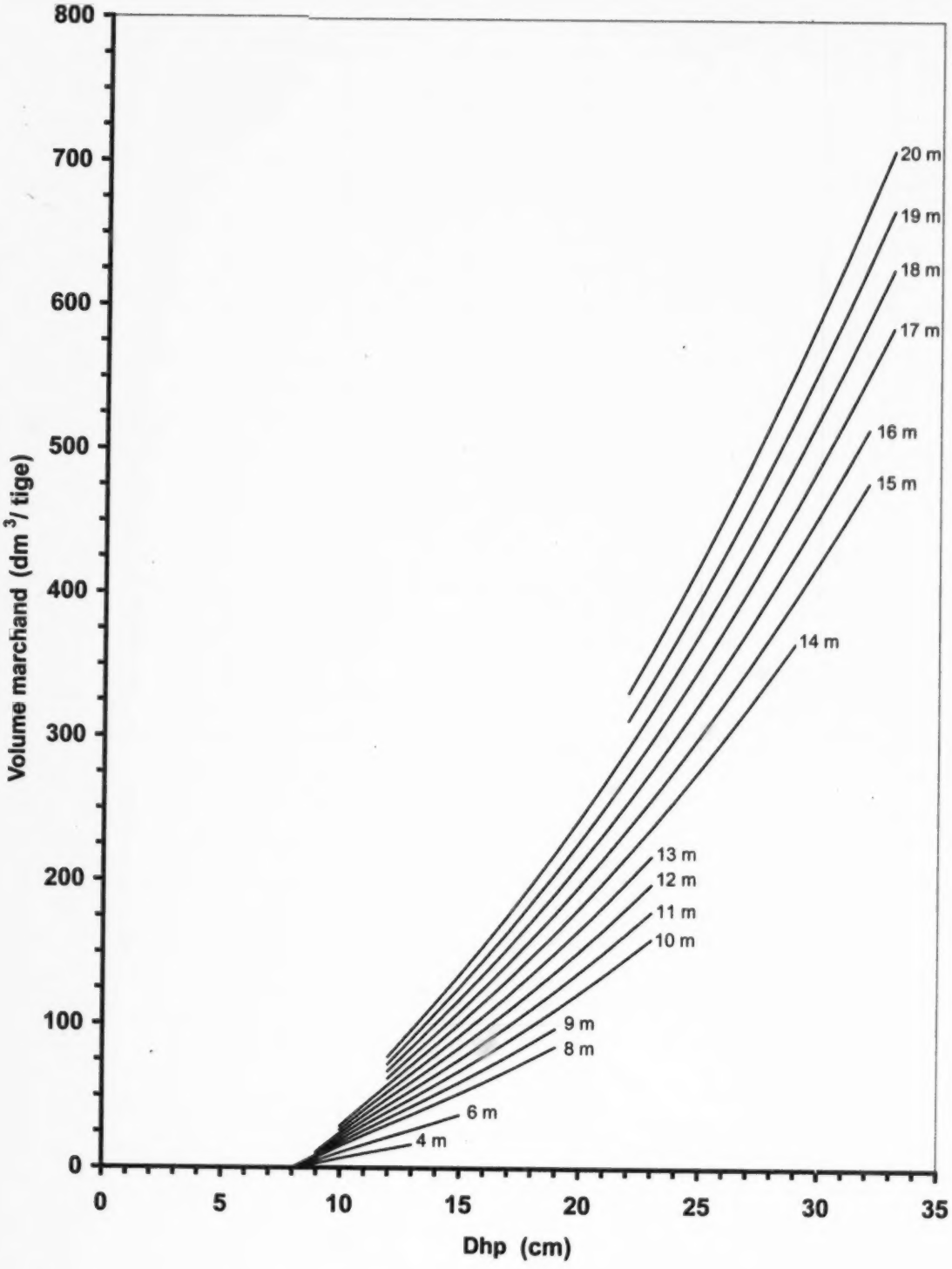

Figure 3. Volume marchand d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale.

Le tableau 8 indique une erreur variant de 14 à 21 % pour les tarifs à diamètre et à hauteur variables. De plus, les tarifs à diamètre et hauteur variables surestiment d'environ 5 à 8 % les volumes observés. Le biais est à peu près constant en fonction du diamètre d'utilisation pour les diamètres inférieurs à 18 cm (surestimation de 5 % pour les diamètres de 3 à 12 cm et de 9 % pour les 18 cm). Toutefois, la surestimation est de 22 % pour les diamètres de 21 cm et plus. Le biais est à peu près constant en fonction de la hauteur d'utilisation.

2.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge

La valeur des paramètres de l'équation [7] de l'estimation de la croissance de la hauteur dominante est β_0 = 34,6683 et β_2 = 1,5077. Les erreurs-types sont respectivement de 2,2 et 0,04. Le domaine bioclimatique, la densité de reboisement, le type de dépôt cartographique et le type de plantation (plants produits en récipients ou à racines nues) ont été testés comme variables explicatives à l'intérieur du modèle de croissance retenu mais aucune de ces variables n'a permis d'améliorer significativement le pouvoir d'estimation du modèle retenu. La validation croisée indique un biais de 0,04 m (0,4 %) alors que l'erreur est de 0,76 m, soit 8,3 % de la valeur moyenne de la hauteur dominante. Il est aussi possible d'évaluer le comportement dans le temps en calculant le biais et l'erreur au deuxième et au troisième mesurages, soit après un et deux pas de simulation respectivement. Ainsi, le tableau 9 montre qu'il y a une sous-estimation de la hauteur dominante de 0,9 % au deuxième mesurage et une surestimation de près de 2 % au troisième mesurage. L'erreur, quant à elle, passe de 9,8 % après un pas de simulation à 13,3 % après deux pas.

La valeur $H_{100,2}$ du modèle [7] correspond à l'indice de qualité de station lorsque la variable A_2 prend la valeur de l'âge de référence, soit 25 ans. La figure 4 présente les courbes des indices de qualité de station variant de 4 à 14 m. L'annexe I présente ces valeurs sous la forme d'un tableau. La croissance annuelle maximale en hauteur dominante est de 63 cm et est obtenue à 13 ans pour l'IQS de 14 m alors que la valeur maximale pour l'IQS de 4 m est de 22 cm et est obtenue à 38 ans (Annexe J). Il est à noter qu'une courbe est obtenue en effectuant plusieurs pas de simulation à partir d'une hauteur dominante donnée à 25 ans. Par contre, le modèle n'est validé que sur deux pas de simulation. Toutefois, puisque le modèle provient d'une fonction de croissance, en l'occurrence Chapman-Richards, la forme de la courbe est contrôlée et permet de fournir des estimations valables (BERRILL et HAY 2005).

2.3 Tables de rendement

Les paramètres des équations [10] à [21] ainsi que leur erreur-type sont présentés au tableau 10. Les tables de rendement sont produites à l'aide des modèles [10] à [21] et du modèle [9]. Ce dernier permet de calculer le nombre de tiges en fonction de la surface terrière et du dhp. Les résultats varient selon l'âge, la hauteur dominante (ou l'IQS) et l'espacement initial moyen. Les annexes K à U présentent les tables de rendement pour un espacement initial de 2,236 m. Il s'agit de l'espacement correspondant à la densité de reboisement actuellement la plus utilisée, soit 2 000 plants à l'hectare. Les estimations de ces tables sont présentées pour des âges variant de 8 à 60 ans et selon des diamètres minimaux d'utilisation de 0 cm (total), 9 cm (portion marchande), 12 et 15 cm. Les IQS varient de 4 à 14 m par intervalle de 1 m, soit une annexe par IQS. Pour des espacements initiaux différents de celui utilisé dans ces annexes, le lecteur pourra générer les tables en faisant varier l'espacement à l'intérieur des équations [10] à [21].

Par ailleurs, les résultats de la validation croisée sont présentés au tableau 11. Les modèles de surface terrière et ceux des volumes total et marchand ont tendance à sous-estimer les valeurs observées. Les biais de la surface terrière marchande et du volume marchand indiquent une sous-estimation de 0,6 % (G_9) et 0,5 % (V_9) respectivement. Tous les autres modèles indiquent un biais inférieur à 5,3 %.

2.4 Modèles de croissance

Les valeurs des paramètres des modèles de croissance de la surface terrière totale, du volume total et du dhp quadratique moyen de toutes les tiges ainsi que leur erreur-type sont présentées au tableau 12. Les valeurs estimées pour des diamètres minimums d'utilisation de 9, 12 et 15 cm peuvent être obtenues avec les modèles [11] à [13] pour la surface terrière, les modèles [15] à [17] pour le volume et les modèles [19] à [21] pour le dhp quadratique. Compte tenu du nombre de variables indépendantes et du grand nombre de valeurs qu'elles peuvent prendre, il est difficile d'illustrer graphiquement ces relations.

Tableau 9. Biais et erreur obtenus de la validation croisée du modèle d'estimation de la croissance de la hauteur dominante aux mesurages deux et trois

Mesurage	Nombre d'observations	Hauteur (m)	Biais (m)	Erreur (m)
2	334	7,85	0,07 (0,9 %)	0,77 (9,8 %)
3	168	10,08	-0,18 (-1,8 %)	1,34 (13,3 %)

Tableau 10. Paramètres, erreurs-types (entre parenthèses) et R^2 des modèles des tables de rendement

Modèle	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2 (%)
G_0	19,0172 (2,1253)	-0,4385 (0,0390)	0,4052 (0,0383)	0,2006 (0,0151)	-0,0312 (0,0037)	11,6442 (2,1902)	88,4
G_9	0,9762 (0,0072)	0,2331 (0,0110)	33,6769 (6,5667)				98,6
G_{12}	0,9368 (0,0073)	0,2019 (0,0077)	37,3982 (5,9658)				98,2
G_{15}	0,8743 (0,0089)	0,1728 (0,0095)	40,5256 (9,6996)				97,1
V_0	0,2604 (0,0059)	1,0957 (0,0085)	1,0259 (0,0074)	0,0587 (0,0086)			99,8
V_9	0,9484 (0,0046)	0,1405 (0,0093)	5,5851 (1,1511)				99,5
V_{12}	0,9185 (0,0081)	0,1091 (0,0093)	4,1647 (0,9398)				99,3
V_{15}	0,8812 (0,0161)	0,0897 (0,0102)	4,4702 (1,1922)				98,7
Dq_0	1,7205 (0,1227)	0,4220 (0,0189)	0,7301 (0,0236)	0,1754 (0,0183)	3,4761 (0,7664)		94,3
Dq_9	9,0287 (0,1217)	0,0102 (0,0030)	0,0308 (0,0230)	0,0254 (0,0009)			99,5
Dq_{12}	3,3104 (0,1674)	-0,0183 (0,0026)	0,8991 (0,0155)				99,8
Dq_{15}	3,6593 (0,1963)	-0,0136 (0,0021)	0,8957 (0,0142)				99,9

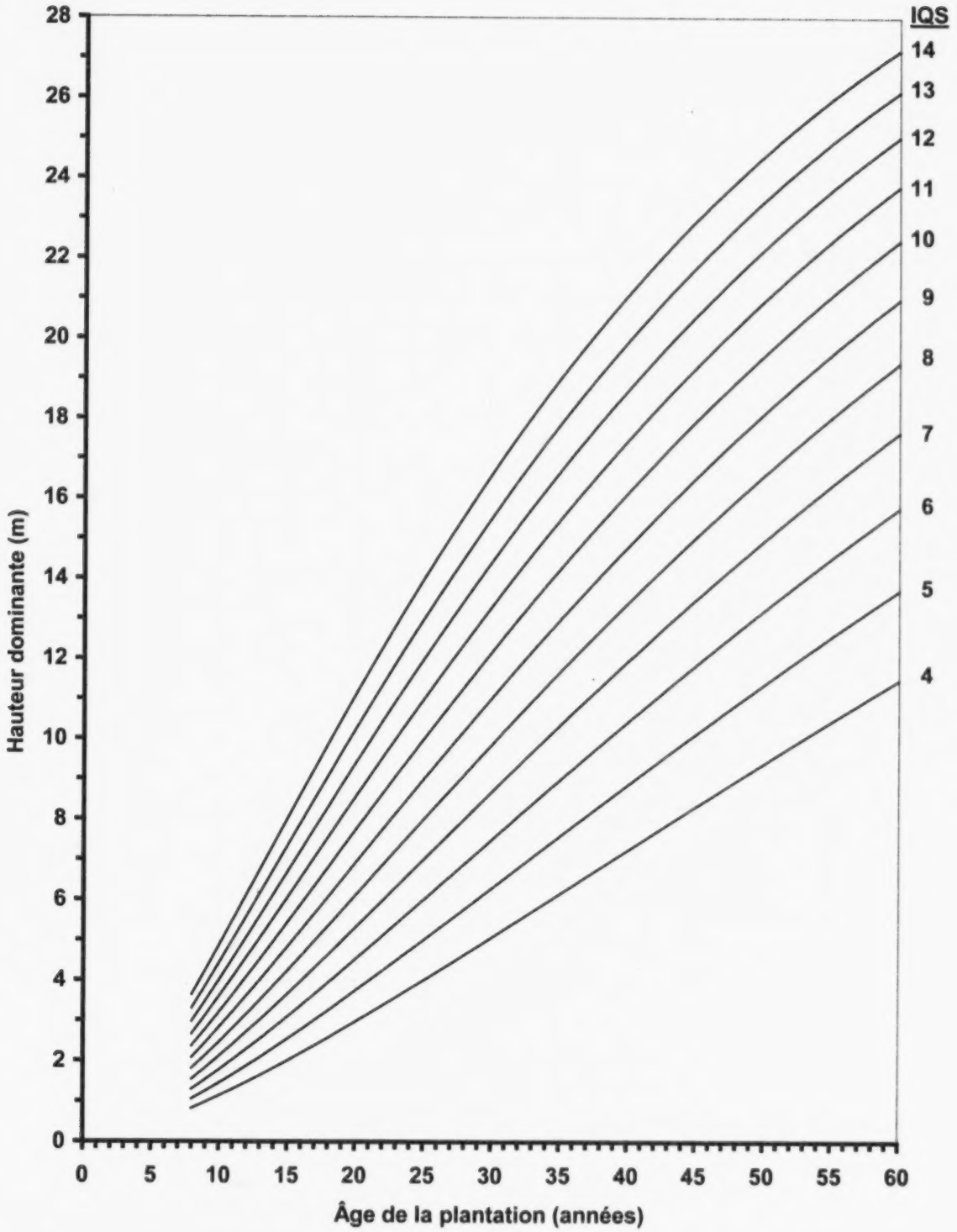

Figure 4. Hauteur dominante de l'épinette blanche en fonction de l'âge pour divers indices de qualité de station.

Note : Hauteur dominante estimée$_2$ = 34,6683 (1 - (1 - (Hauteur dominante$_1$ / 34,6683) $^{1/1,5077}$) $^{A2/A1}$) ^{1,5077}

Tableau 11. Biais et erreur obtenus de la validation croisée des modèles des tables de rendement (valeurs relatives entre parenthèses)

Modèle	Nombre d'observations	Biais[1]	Erreur
G_0	678	0,26 (1,1 %)	6,96 (29,9 %)
G_9	678	0,12 (0,6 %)	7,61 (37,1 %)
G_{12}	678	0,40 (2,3 %)	8,00 (46,3 %)
G_{15}	678	0,52 (4,0 %)	7,84 (61,1 %)
V_0	678	3,14 (2,7 %)	35,43 (30,7 %)
V_9	678	0,53 (0,5 %)	36,52 (37,0 %)
V_{12}	678	-0,82 (-1,0 %)	36,33 (45,7 %)
V_{15}	678	-1,98 (-3,6 %)	34,47 (61,7 %)
Dq_0	678	-0,09 (-0,9 %)	1,46 (13,7 %)
Dq_9	559	0,06 (0,5 %)	1,16 (10,1 %)
Dq_{12}	475	0,10 (0,9 %)	1,08 (9,6 %)
Dq_{15}	409	0,13 (1,1 %)	1,02 (9,3 %)
N_0	678	-26,50 (-1,2 %)	772,81 (33,7 %)
N_9	678	-60,28 (-5,3 %)	547,12 (48,4 %)
N_{12}	678	-16,78 (-2,2 %)	495,80 (65,0 %)
N_{15}	678	14,63 (3,2 %)	386,02 (85,5 %)

[1]Les unités de mesures du biais et de l'erreur sont les suivantes : G_0 à G_{15} en m²/ha, V_0 à V_{15} en m³/ha, Dq_0 à Dq_{15} en cm.

Tableau 12. Paramètres, erreurs-types (entre parenthèses) et R^2 des équations [25], [26] et [27] des modèles de croissance

Modèle	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2 (%)
G_0	5,6149 (0,1322)	-5,6104 (0,1458)	0,9895 (0,0035)			96,1
V_0	0,5583 (0,0986)	0,9919 (1,3476)	1,1312 (0,0206)	0,0555 (0,0027)		96,4
Dq_0	7,8915 (0,1531)	-3,2386 (0,1637)	-0,2146 (0,0460)	0,7241 (0,0483)	-0,4946 (0,0015)	97,7

Les résultats de la validation croisée sont présentés au tableau 13. Comme pour les modèles des tables de rendement, les biais, tous mesurages confondus, indiquent une sous-estimation de la surface terrière marchande et du volume marchand (2,7 % et 0,8 %, respectivement). Tous les autres modèles ont un biais inférieur à 5 %, à l'exception de G_{15} qui a un biais de 6,3 %. Au deuxième mesurage, tous les biais sont inférieurs à 5 % tandis qu'au troisième mesurage, ils sont tous inférieurs à 8 %. Plus particulièrement, le biais de la surface terrière marchande passe de 1,5 % au deuxième mesurage à 5,7 % au troisième, et celui du volume marchand passe de -1,4 % à 5,0 %. Généralement, l'erreur augmente avec le nombre de pas de simulation (Ochi et Cao 2003), ce qui n'est pas le cas de cette étude. Cela peut s'expliquer, entre autres, par le faible nombre d'observations au troisième mesurage.

Tableau 13. Biais et erreur obtenus de la validation croisée des modèles de croissance (valeurs relatives entre parenthèses)

	Tous les mesurages			Mesurage deux			Mesurage trois		
Modèle	N	Biais[1]	Erreur	N	Biais	Erreur	N	Biais	Erreur
G_0	291	0,43 (1,4 %)	4,52 (14,8 %)	209	0,16 (0,6 %)	3,24 (12,6 %)	54	1,81 (4,1 %)	5,74 (13,1 %)
G_9	291	0,77 (2,7 %)	5,10 (18,0 %)	209	0,35 (1,5 %)	4,13 (18,2 %)	54	2,46 (5,7 %)	6,14 (14,2 %)
G_{12}	291	0,99 (4,0 %)	5,67 (23,0 %)	209	0,43 (2,3 %)	4,81 (25,8 %)	54	2,84 (7,1 %)	6,99 (17,4 %)
G_{15}	291	1,22 (6,3 %)	6,60 (33,7 %)	209	0,61 (4,4 %)	5,65 (41,1 %)	54	2,68 (7,9 %)	8,37 (24,7 %)
V_0	291	2,79 (1,6 %)	37,45 (22,0 %)	209	0,55 (0,4 %)	20,20 (16,1 %)	54	14,98 (5,3 %)	49,27 (17,4 %)
V_9	291	1,18 (0,8 %)	37,33 (24,7 %)	209	-1,54 (-1,4 %)	22,00 (20,7 %)	54	13,20 (5,0 %)	48,89 (18,7 %)
V_{12}	291	-0,10 (-0,1 %)	37,21 (29,7 %)	209	-2,32 (-2,8 %)	24,58 (29,4 %)	54	9,38 (4,2 %)	49,02 (21,7 %)
V_{15}	291	-0,73 (-0,8 %)	37,45 (40,2 %)	209	-2,03 (-3,5 %)	26,22 (45,3 %)	54	3,19 (1,8 %)	49,31 (28,6 %)
Dq_0	291	0,07 (0,5 %)	0,95 (7,2 %)	209	-0,05 (-0,4 %)	0,78 (6,6 %)	54	0,13 (0,8 %)	0,78 (6,6 %)
Dq_9	289	0,06 (0,4 %)	0,88 (5,9 %)	207	-0,03 (-0,2 %)	0,71 (5,3 %)	54	0,08 (0,4 %)	0,91 (5,3 %)
Dq_{12}	260	0,09 (0,5 %)	0,89 (5,4 %)	178	0,01 (0,1 %)	0,79 (5,1 %)	54	0,07 (0,4 %)	0,88 (4,9 %)
Dq_{15}	215	0,16 (0,9 %)	0,91 (4,8 %)	134	0,09 (0,5 %)	0,85 (4,7 %)	53	0,13 (0,7 %)	0,87 (4,5 %)
N_0	291	3,63 (0,2 %)	220,85 (10,4 %)	209	10,73 (0,5 %)	210,48 (9,5 %)	54	43,98 (2,1 %)	230,84 (11,2 %)
N_9	289	9,86 (0,7 %)	291,63 (20,2 %)	207	0,70 (0,1 %)	309,77 (23,4 %)	54	89,36 (4,8 %)	248,10 (13,2 %)
N_{12}	260	21,35 (1,9 %)	274,85 (24,3 %)	178	10,65 (1,1 %)	289,02 (29,5 %)	54	82,82 (5,3 %)	267,94 (17,3 %)
N_{15}	215	27,35 (3,1 %)	281,48 (31,6 %)	134	15,51 (2,0 %)	290,09 (37,8 %)	53	59,28 (5,3 %)	294,15 (26,1 %)

[1]Les unités de mesures du biais et de l'erreur sont les suivantes : G_0 à G_{15} en m^2/ha, V_0 à V_{15} en m^3/ha, Dq_0 à Dq_{15} en cm, N_0 à N_{15} en nombre de tiges à l'hectare.

Chapitre trois

Discussion

3.1 Utilisation du tarif de cubage

Le tarif de cubage de cette étude permet d'estimer le volume avec ou sans écorce entre n'importe quelle hauteur ou n'importe quel diamètre le long de la tige. Il permet également d'estimer le diamètre au fin bout en fonction d'une certaine longueur de billon ou encore la longueur de billon associée à un certain diamètre au fin bout. Le lecteur trouvera dans Prégent *et al.* (2001, section 3.3) plusieurs exemples d'utilisation de ce type de tarif.

Le domaine bioclimatique (Saucier *et al.* 1998) a été testé comme variable explicative dans le système d'équations simultanées sans toutefois améliorer significativement le pouvoir d'estimation du tarif de cubage.

La comparaison du tarif de cubage de cette étude et de celui utilisé par Bolghari et Bertrand (1984) montre un écart plus important des tiges à fort diamètre pour une hauteur donnée (Figure 5), c'est-à-dire celles de forme plus conique que l'on retrouve notamment dans les peuplements moins denses. Contrairement au tarif de cubage de Bolghari et Bertrand, le tarif actuel corrige indirectement l'effet de la densité du peuplement sur la forme de la tige en incorporant la hauteur dominante et le dhp des dominants dans le modèle de régression de la hauteur totale. Par conséquent, le présent tarif fournit des estimés de volume moins élevés mais plus précis pour des peuplements moins denses que ceux de Bolghari et Bertrand (1984).

3.2 Utilisation d'une équation de différence pour modéliser la relation entre la hauteur dominante et l'âge

Le modèle utilisé pour décrire la relation entre la hauteur dominante et l'âge, discuté à la section 1.2, fournit de meilleures estimations que le modèle utilisé par Bolghari et Bertrand (1984). Ainsi, le modèle [7] permet d'obtenir un coefficient de détermination de 97,9 % comparativement à 83,0 % et une erreur quadratique moyenne de 0,76 m au lieu de 1,64 m. Ces améliorations peuvent s'expliquer par l'utilisation de plusieurs mesures de chacune des parcelles, lesquelles permettent de construire une équation de différence, par l'obtention de courbes polymorphiques et par la disponibilité d'un plus grand nombre de données.

À la suite de deux conversions présentées à la section 1.2, les IQS de 8, 10, 12 et 14 m du modèle actuel correspondent respectivement aux IQS de 6,02, 7,57, 9,12 et 10,67 m de Bolghari et Bertrand (1984). La figure 6 permet de constater que la pente de la relation entre la hauteur dominante et l'âge du modèle de l'étude actuelle est plus forte. Par rapport au modèle actuel, celui de Bolghari et Bertrand estime une hauteur dominante supérieure à des âges inférieurs à l'âge de référence (25 ans) et inférieure à des âges supérieurs à l'âge de référence. Ces écarts sont d'autant plus importants à mesure que l'on s'éloigne de l'âge de référence et que l'IQS est faible.

3.3 Tables de rendement

L'effet combiné de la qualité de la station et de l'espacement initial sur la production en volume marchand estimée à partir des modèles des tables de rendement est illustré à la figure 7. Les espacements initiaux de 2,0, 2,236 et 2,5 m, correspondant à un intervalle parmi les espacements les plus fréquents, ainsi que les qualités de station de 6 m (station très pauvre), 10 m (qualité de station moyenne) et 14 m (station très fertile) y sont présentés. Une hausse de l'espacement initial de 2,0 à 2,236 m correspond à une baisse de la densité de reboisement de 2 500 à 2 000 plants à l'hectare, soit celle appliquée en forêt publique au Québec depuis le milieu de la décennie 1990. Selon les tables de rendement, cette baisse de 20 % de la densité de reboisement a entraîné une diminution de production du volume marchand à 60 ans de 11,0 m^3/ha sur les stations peu fertiles (IQS de 6 m), de 18,8 m^3/ha sur les stations moyennement fertiles (IQS de 10 m) et de 25,1 m^3/ha sur les stations très fertiles (IQS de 14 m). Pour une diminution semblable de la densité de reboisement, Bolghari et Bertrand (1984) rapportent une baisse de la production en volume marchand inférieure à 12 m^3/ha alors que Berry (1978) estimait celle-ci entre 9 et 13 m^3/ha, selon les qualités de station.

Comme il a été mentionné précédemment, les plus grands écarts observés dans cette étude résultent, en partie du moins, de l'utilisation d'un tarif de cubage dépendant de la hauteur dominante et du dhp des dominants. Ce tarif fournit des estimés de volume plus précis, particulièrement pour les tiges à fort défilement comme celles retrouvées dans les plantations à plus grand espacement. Néanmoins, la diminution de volume marchand liée à un abaissement de 20 % de la densité de reboisement équivaut à des diminutions de production en volume marchand de 4,4 % seulement pour les trois qualités de station mentionnées. L'effet de la qualité de la station sur la production en volume marchand est beaucoup plus marqué. La production en volume marchand à 60 ans d'un espacement initial de 2,236 m passe de 237,7 m^3/ha sur une station peu fertile (IQS de 6 m) à 541,8 m^3/ha sur une station très fertile (IQS de 14 m), soit une augmentation de près de 128 %.

La figure 8 illustre les effets de la qualité de la station et de l'espacement initial sur la croissance en diamètre des tiges. Une hausse de l'espacement initial de 2,0 à 2,236 m a entraîné une hausse de la croissance en diamètre à 60 ans de 4,8 % pour les trois qualités de station analysées. Cette hausse de l'espacement initial a des répercussions encore plus importantes sur la production en volume par tige. À partir de la figure 9, nous pouvons observer qu'une hausse de l'espacement de 2,0 à 2,236 m équivaut à une hausse du volume marchand par tige à 60 ans de 13,4 dm^3 (hausse de 9,3 %) sur les stations les moins fertiles (IQS de 6 m), de 43,3 dm^3 (hausse de 11,9 %) sur les stations moyennement fertiles (IQS de 10 m) et de 83,0 dm^3 (hausse de 13,2 %) sur les stations les plus fertiles (IQS de 14 m). Donc, l'effet de l'espacement initial est plus marqué sur le volume par tige que sur celui à l'hectare. De plus, ces deux dernières variables sont inversement proportionnelles. Tout comme pour le volume à l'hectare, l'effet de la qualité de la station sur le volume moyen par tige est plus marqué que celui de l'espacement initial. Pour un espacement initial de 2,236 m, le volume marchand par tige passe de 157,7 à 712,9 dm^3 lorsque l'IQS passe de 6 à 14 m, soit une augmentation de 352 %.

L'accroissement annuel moyen en volume marchand est illustré à la figure 10. La valeur maximale pour l'IQS de 14 m et l'espacement le plus grand analysé, soit 2,5 m, est de 8,71 m^3/ha et elle est atteinte à 54 ans; les valeurs maximales pour les espacements de 2,236 et 2,0 m, sont atteintes à 52 ans et elles sont de 9,16 et 9,61 m^3/ha respectivement. Les valeurs maximales d'accroissement annuel moyen en volume marchand pour un IQS de 10 m ne sont pas atteintes avant 60 ans. Néanmoins, la faible progression de cette variable entre 55 et 60 ans laisse entrevoir des valeurs maximales aux environs de 65 ans et ces valeurs devraient être de l'ordre de 6,5, 6,8 et 7,1 m^3/ha pour des espacements respectifs de 2,5, 2,236 et 2,0 m. L'accroissement annuel moyen en volume marchand pour l'IQS de 6 m culminera plus tardivement que pour l'IQS de 10 m et à des valeurs inférieures.

Le volume marchand diffère grandement de celui des tables de Bolghari et Bertrand (1984) (Figure 11). Le volume marchand estimé à 45 ans pour un espacement initial de 2,236 m de l'étude actuelle est de 213,2, 278,3, 342,3 et 403,7 m^3/ha pour des IQS respectifs de 8, 10, 12 et 14 m. Les volumes estimés selon les tables de Bolghari et Bertrand (1984) ne sont que de 96,4, 146,5, 198,8 et 251,8 m^3/ha respectivement pour ces mêmes caractéristiques et selon les corrections mentionnées à la section 1.2. Malgré ces grands écarts, rappelons que la validation des modèles de l'étude actuelle indiquait une sous-estimation du volume marchand. La productivité de l'épinette blanche apparaît donc beaucoup plus grande à partir de ces nouveaux modèles que celle anticipée à partir des tables de rendement antérieures. Cette amélioration peut s'expliquer par l'utilisation de nouveaux modèles pour l'élaboration des tables de rendement et par la disponibilité de données plus nombreuses et mieux réparties.

3.4 Modèles de croissance

L'utilisation de mesures répétées dans le temps a permis de construire des modèles de croissance qui estiment les diverses variables dendrométriques (hauteur dominante, surface terrière, volume et dhp quadratique) d'une plantation à partir de ses caractéristiques à un âge antérieur. Tout comme pour les modèles des tables de rendement, ces estimés peuvent être faits pour l'ensemble des tiges, les tiges de plus de 9 cm (portion marchande), celles de plus de 12 cm et celles de plus de 15 cm de diamètre à hauteur de poitrine. Les variables nécessaires à l'utilisation des modèles de croissance sont l'âge de la plantation, la hauteur dominante, la surface terrière totale et le nombre total de tiges. Ces modèles fournissent des estimés plus précis que ceux issus des modèles associés aux tables de rendement de la présente étude. L'erreur relative de l'estimation de la surface

terrière totale obtenue par la validation croisée est de 29,9 % pour le modèle associé aux tables de rendement et de 14,8 % pour le modèle de croissance; ces valeurs pour le volume marchand sont de 37,0 et 24,7 % respectivement (Tableaux 11 et 13). Toutefois, étant donné que le comportement à long terme des modèles n'est pas contrôlé et que l'évaluation ne peut être effectuée que sur deux pas de simulation, nous ne recommandons pas l'utilisation des modèles de croissance pour une projection dans le temps au-delà d'une vingtaine d'années.

Quelques différences d'estimations sont observées entre les modèles des tables de rendement et les modèles de croissance. En effet, les écarts de production de surface terrière et de volume entre les différentes qualités de station sont moins importants avec les modèles de croissance. Ainsi, les productions sont légèrement plus fortes sur de faibles qualités de station et légèrement plus faibles sur de bonnes qualités de station. De plus, les rythmes de croissance sont moins élevés à des âges avancés, ce qui induit un accroissement annuel moyen en volume lequel culmine légèrement plus tôt et à des valeurs inférieures à celles des estimations faites avec les modèles des tables de rendement.

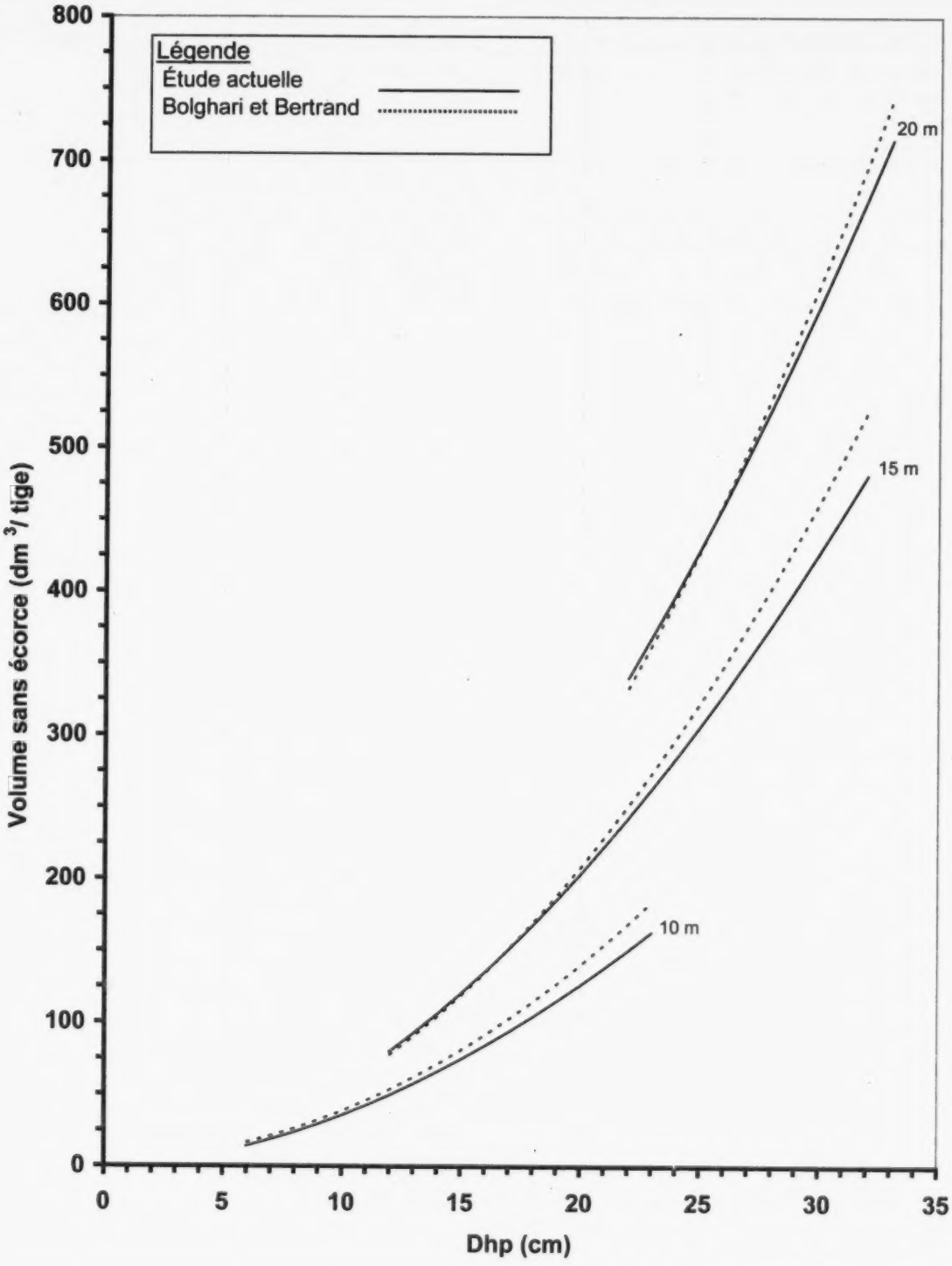

Figure 5. Comparaison du volume total sans écorce estimé par les tarifs de cubage de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celui de l'étude actuelle.

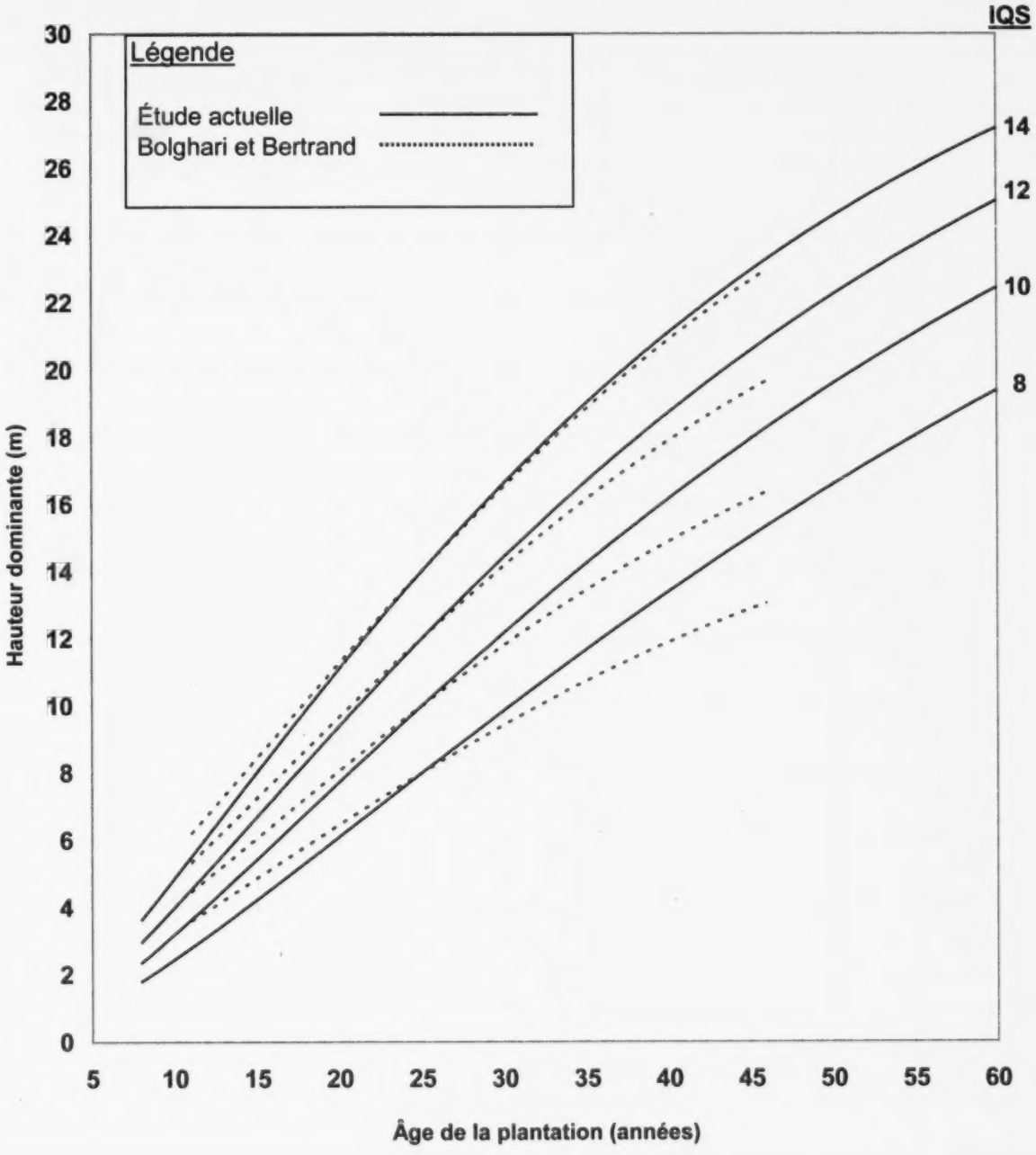

Figure 6. Hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation, pour divers IQS, selon les tables de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celles de l'étude actuelle.

Note : Les IQS de 8, 10, 12 et 14 m de l'étude actuelle correspondent à des IQS estimés de 6,02, 7,57, 9,12 et 10,67 respectivement selon le modèle de BOLGHARI et BERTRAND (1984).

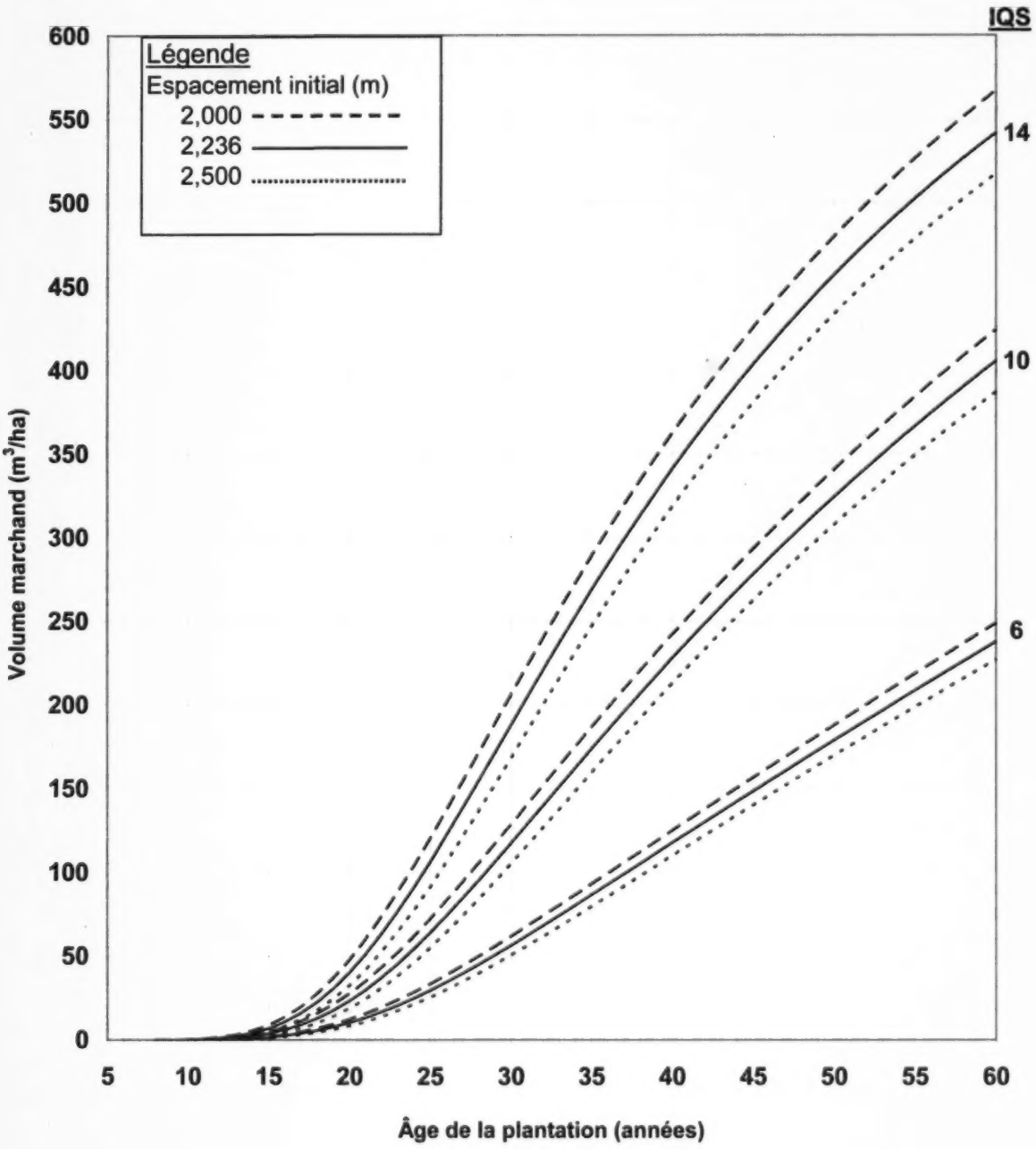

Figure 7. Volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche.

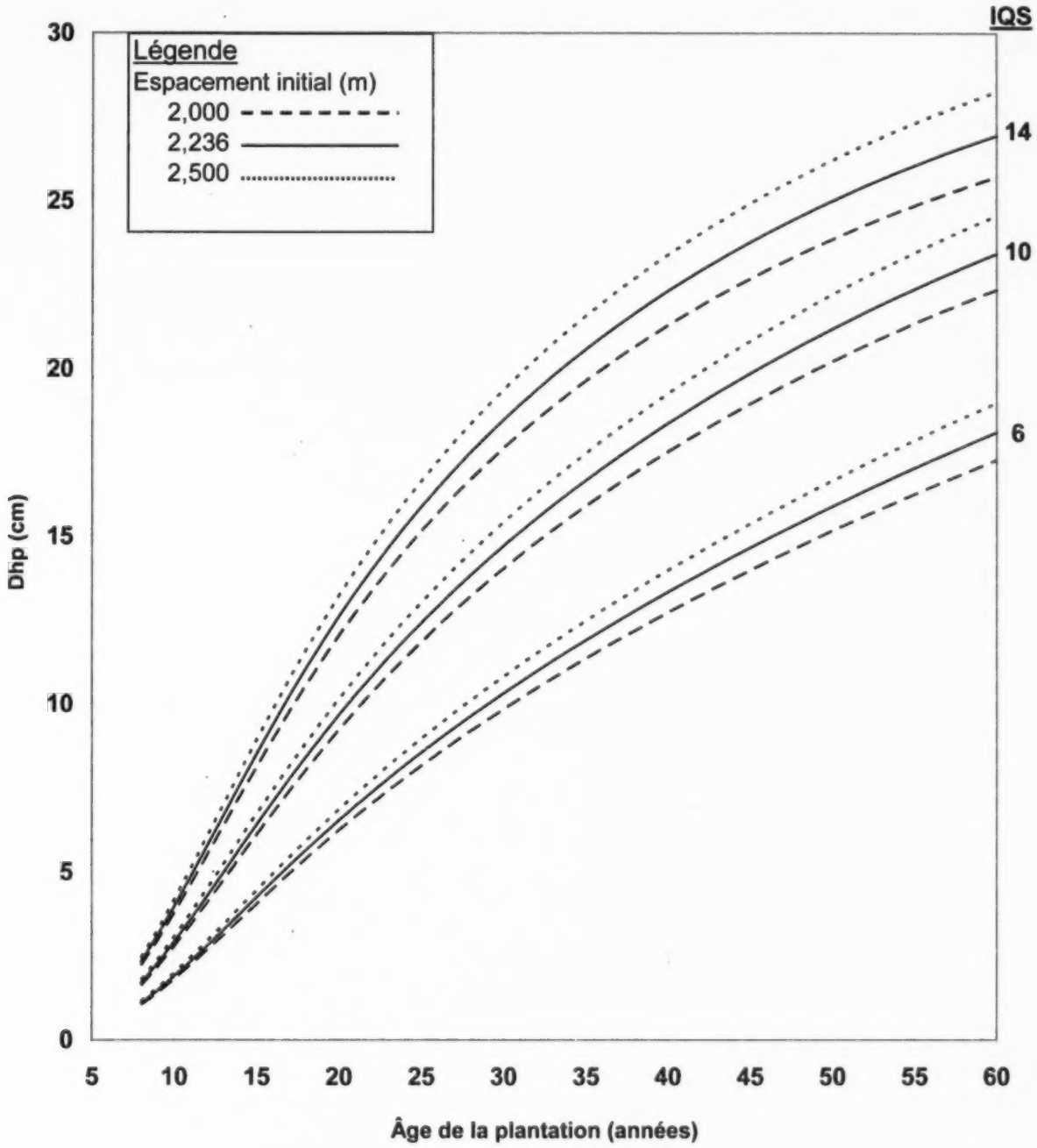

Figure 8. Dhp quadratique moyen estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche.

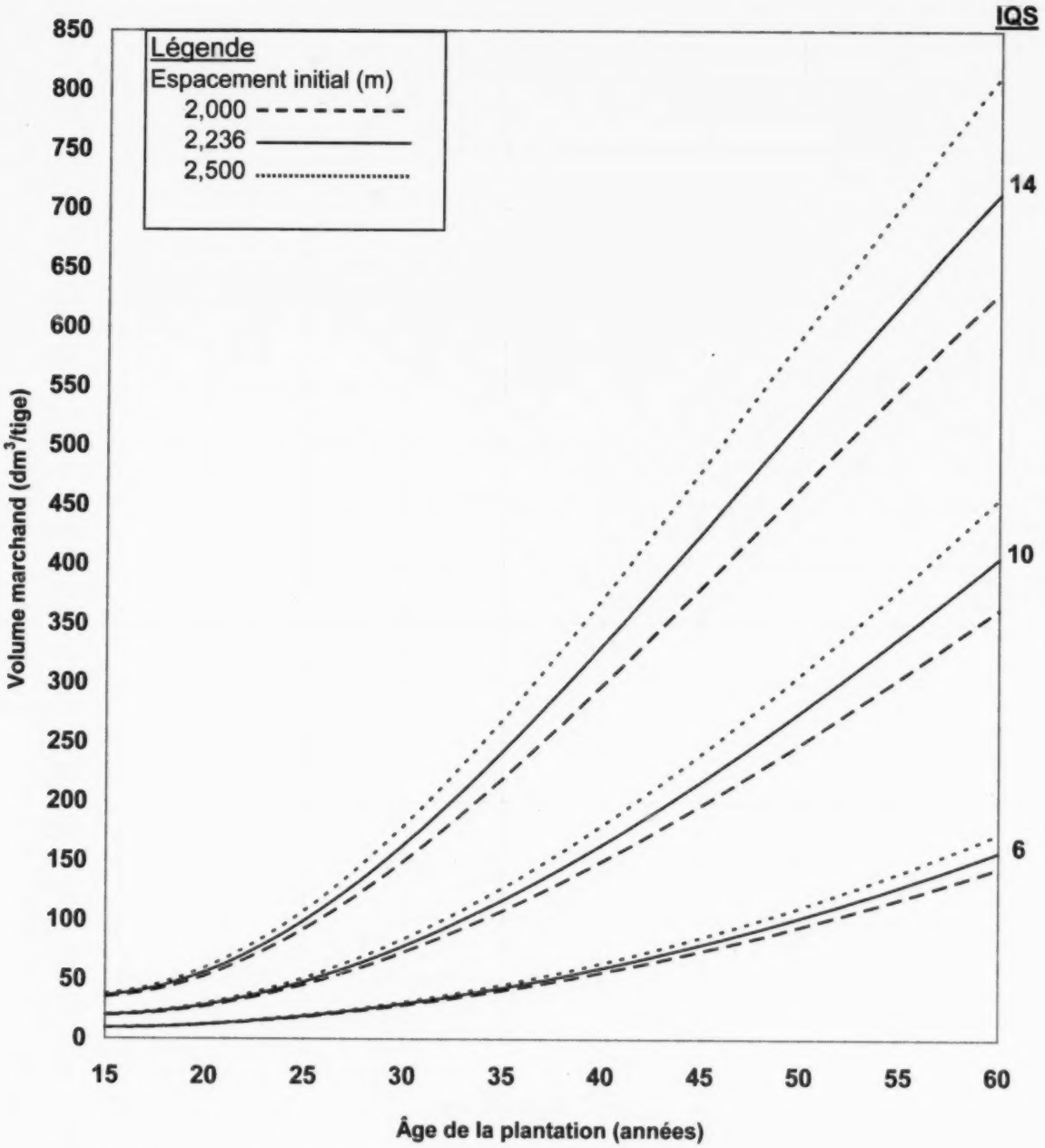

Figure 9. Volume marchand par tige estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche.

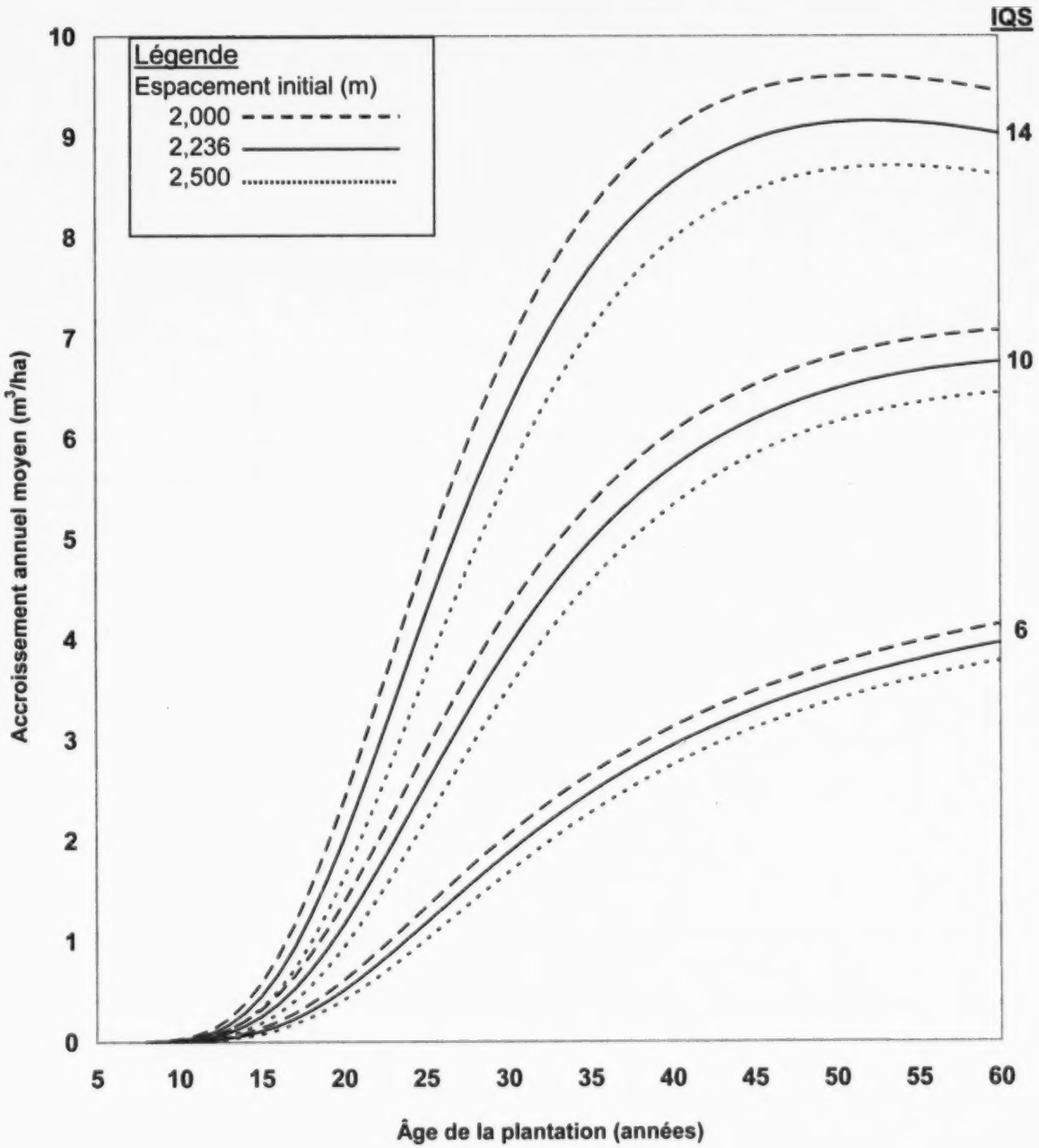

Figure 10. Accroissement annuel moyen en volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette blanche.

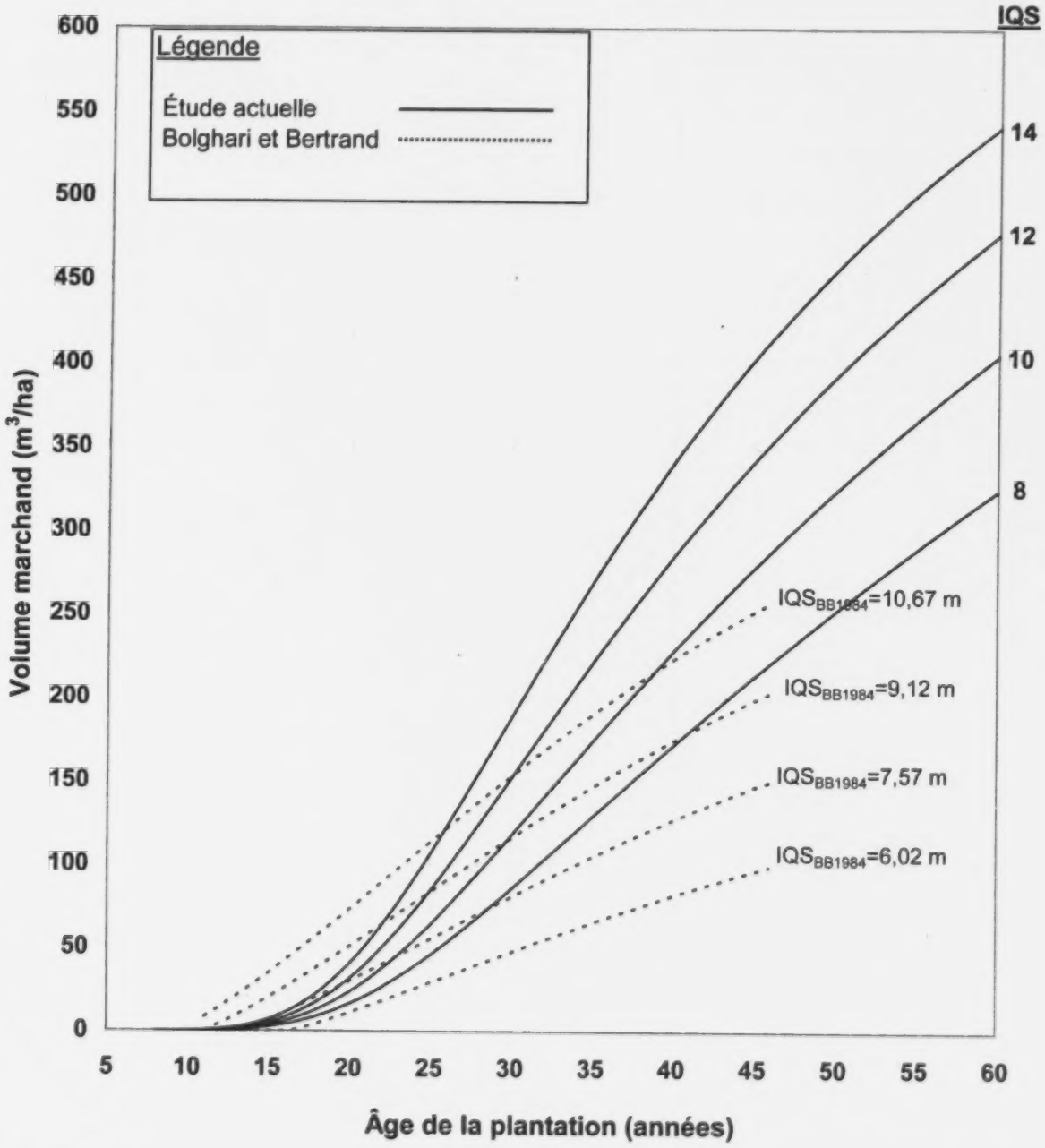

Figure 11. Volume marchand en fonction de l'âge, pour un espacement initial de 2,236 m et divers IQS, selon les tables de rendement de BOLGHARI et BERTRAND (1984) et celles de l'étude actuelle.

Note : Les IQS de 8, 10, 12 et 14 m de l'étude actuelle correspondent à des IQS estimés de 6,02, 7,57, 9,12 et 10,67 m respectivement selon le modèle de BOLGHARI et BERTRAND (1984).

Conclusion

À partir des données récoltées dans des plantations d'épinette blanche sur une période de près de 40 ans, quatre outils sont proposés : un tarif de cubage, une relation entre la hauteur dominante et l'âge, des tables de rendement et des modèles de croissance. L'amélioration importante des trois premiers outils par rapport à ceux élaborés par Bolghari et Bertrand (1984) peut s'expliquer par une approche statistique mieux adaptée mais également par un échantillonnage de plus grande taille mieux diversifié dans le temps et l'espace. Le dernier outil, celui des modèles de croissance, constitue une nouveauté et il a été rendu possible par le mesurage de parcelles permanentes. Ces modèles sont plus précis que les tables de rendement sur une période de 20 ans. Toutefois, compte tenu des données disponibles, les projections dans le temps ne peuvent excéder une vingtaine d'années. Les données actuelles ne permettent pas de percevoir un effet du domaine bioclimatique sur ces différents modèles. Par conséquent, ceux-ci s'appliquent indifféremment à toute la zone couverte du présent échantillonnage. Ainsi, l'élaboration de tables de rendement régionales n'est pas nécessaire.

Le tarif de cubage de cette étude permet de trouver le volume de la tige, avec ou sans écorce, entre n'importe quels niveaux le long de la tige. C'est grâce à ce tarif que nous avons pu innover en concevant des modèles pour les tables de rendement et des modèles de croissance comprenant des informations non seulement de la totalité et de la partie marchande (tiges de plus de 9 cm de dhp) du peuplement mais également des tiges de plus de 12 cm de dhp et celles de plus de 15 cm de dhp. L'utilisation de la hauteur dominante et du dhp moyen des dominants fournit des estimés de volume de tige plus précis lesquels tiennent compte de l'effet indirect de la densité du peuplement sur la forme de la tige. Ce tarif permet ainsi d'estimer plus précisément le volume du peuplement en fonction de la densité de reboisement.

Les modèles de croissance et ceux des tables de rendement indiquent un faible lien entre la productivité des plantations par unité de superficie et la densité de reboisement. Cette productivité dépend davantage de la qualité de la station. La densité de reboisement influence surtout le volume moyen des tiges (ou le diamètre moyen).

Compte tenu de l'année d'établissement des plantations disponibles de cette étude, le niveau d'amélioration génétique de ces plantations est presque nul. Or, l'amélioration génétique apportée au cours des dernières décennies permet d'anticiper des rendements largement supérieurs à ceux obtenus dans cette étude (Petrinovic *et al.* 2009). L'effet de l'amélioration génétique pourra éventuellement être incorporé aux présents modèles grâce aux travaux effectués dans le cadre du projet de recherche sur les gains génétiques.

Les plantations d'épinette blanche sont beaucoup plus productives que ne le laissaient présager les tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984). La productivité des plantations du domaine de la pessière à mousses apparaît largement inférieure à celles des domaines des sapinières et des érablières. Par ailleurs, les différences de productivité entre les domaines de l'érablière et ceux de la sapinière sont relativement faibles alors que la variabilité à l'intérieur de ces différents domaines est élevée. Ces observations conduisent à l'hypothèse suivante : la productivité des plantations d'épinette blanche dépendrait davantage de la fertilité des sols que du climat.

Les prochains mesurages du présent réseau de parcelles serviront à améliorer la précision des modèles, notamment en raison d'une disponibilité de plantations plus âgées et de modèles de croissance valables sur une plus longue période. De plus, comme les arbres des plus jeunes plantations du réseau de parcelles sont étiquetés, des modèles d'arbres pourront être produits en sus des modèles de peuplement actuels.

Références bibliographiques

ALEMDAG, I.S., 1991. *National site index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada*. Can. J. For. Res. 21 : 1466-1474.

AMATEIS, R.L., H.E. BURKHART et T.A. WALSH, 1989. *Diameter increment and survival equations for loblolly pine trees growing in thinned and unthinned plantations on cutover, site-prepared lands*. South. J. Appl. For. 13 : 170–174.

BARRIO ANTA, M., F. CASTEDO DORADO, U. DIÉGUEZ-ARANDA, J.G. ALVAREZ GONZALEZ, B.R. PARRESOL, et R. RODRIGUEZ SOALLEIRO, 2006. *Development of a basal area growth system for maritime pine in northwestern Spain using the generalized algebraic difference approach*. Can. J. For. Res. 36 : 1461-1474.

BEAUMONT, J.-F., C.-H. UNG et M. BERNIER-CARDOU, 1999. *Relating site index to ecological factors in black spruce stands: tests of hypotheses*. For. Sci. 45 : 484-491.

BERRILL, J.-P. et A.E. HAY, 2005. *Indicative growth and yield models for even-aged eucalyptus fastigata plantations in New Zealand*. N. Z. J. For. Sci. 35 : 121-138.

BERRY, A.B., 1978. *Tables métriques de rendement basées sur la qualité du site et l'espacement pour les plantations d'épinette blanche*. Pêches et Environnement Canada, Service des Forêts, Station d'expérimentation forestière de Petawawa. Rapport d'information PS-X-70F. 15 p.

BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire de recherche forestière n° 79. 392 p.

BRUCE, D., 1981. *Consistent height-growth and growth-rate estimates for remeasured plots*. For. Sci. 27 : 711–725.

CAO, V., 2000. *Prediction of annual diameter growth and survival for individual tree from periodic measurements*. For. Sci. 46 : 127-131.

CAO, V., S. LI et M.E. MCDILL, 2002. *Developing a system of annual tree growth equations for the loblolly pine – shortleaf pine type in Louisiana*. Can. J. For. Res. 32 : 2051–2059.

CARMEAN, W.H., 1975. *Forest site quality evaluation in the United States*. Adv. Agron. 27 : 209-269.

CARMEAN, W.H., G. HAZENBERG, J.S. THROWER et R.L. LAVALLEY, 2006. *Site-index curves and growth intercepts for young white spruce plantations in North Central Ontario*. North. J. Appl. For. 23 : 257-263.

CLUTTER, J.L., 1963. *Compatible growth and yield models for loblolly pine*. For. Sci 9 : 354-371.

CUNNINGHAM, G.C., 1953. *Croissance et développement des plantations de conifères de Grand-Mère (P.Q.)*. Ministère du Grand Nord canadien et des Ressources naturelles. Mémoire de recherches sylvicoles n° 103. 29 p.

DÉSAULNIERS, G., 1989. *Équation du défilement d'un tronçon : fondement du cubage des arbres en vue du débitage. Deuxième édition*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Direction de la recherche et du développement. Mémoire de recherche forestière n° 69. 91 p.

DIÉGUEZ-ARANDA, U., H.E. BURKHART et R.L. AMATEIS, 2006. *Dynamic site model for Loblolly pine* (Pinus taeda *L.) plantations in the United States*. For. Sci. 52 : 262-272.

EICHHORN, F., 1904. *Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse*. Allg. Forst – Jagdztg. 80 : 45-49.

FONWEBAN, J.N. et F. HOULLIER, 1997. *Tarifs de cubage et fonctions de défilement pour Eucalyptus saligna au Cameroun*. Ann. Sci. For. 54 : 513-528.

FORTIN, M., J. DEBLOIS, S. BERNIER et G. BLAIS, 2007. *Mise au point d'un tarif de cubage général pour les forêts québécoises : une approche pour mieux évaluer l'incertitude associée aux prévisions*. For. Chron. 83 : 754-765.

GEVORKIANTZ, S.R., 1957. *Site index curves for white spruce in the Lake States*. USDA Forest Service Lake States For. Exp. Station, Technical Note 474. St. Paul, MN. 2 p.

GRÉGOIRE, T.G., O. SCHABENBERGER et J.P. BARRETT, 1995. *Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements*. Can. J. For. Res. 25 : 137-156.

HARDING, R.B., 1982. *Site quality evaluation for white spruce plantations in northern Minnesota. Ph. D.* Thesis, Univ. of Minnesota, St. Paul, MN. 135 p.

HARRELL JR., F.E., 2001. *Regression models strategies with applications to linear models, logistic regression, and survival analysis*. New York, Springer Series in Statistics, 1st ed., p. 16-24.

HOSIE, R.C., 1978. *Arbres indigènes du Canada*. Fides, 7e éd. 389 p.

JANSSON, G., 2007. *Gains from selecting* Pinus sylvestris *in southern Sweden for volume per hectare*. Scand. J. For. Res. 22 : 185-192.

KER, M.F. et C. BOWLING, 1991. *Polymorphic site index equations for four New Brunswick softwood species*. Can. J. For. Res. 21 : 728-732.

KIRBY, C.L., 1975. *Site index equations for lodgepole pine and white spruce in Alberta*. Can. For. Serv. Inf. Rpt. NOR-X-142. Edmonton, AB. 12 p.

MCDILL, M.E. et R.L. AMATEIS, 1993. *Fitting discrete-time dynamic models having any time interval*. For. Sci. 39 : 499-519.

MÉNÉTRIER, J., M. PERRON, G. DAOUST et G. SIROIS, 2005. *Le boisement des friches*. Programme de Forêt 2020 pour l'évaluation de plantations de démonstration au Québec. Notice d'information. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Ressources naturelles Canada. 24 p.

OCHI, N. et Q.V. CAO, 2003. *A comparison of compatible and annual growth models*. For. Sci. 49 : 285-290.

PERRON, J.-Y., 1985. *Tarif de cubage général – volume marchand brut. (2e éd.)*. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Service de l'inventaire forestier. 55 p.

PETRINOVIC, J.F., N. GÉLINAS et J. BEAULIEU, 2009. *Rentabilité des plantations d'épinette blanche améliorée génétiquement au Québec : le point de vue du propriétaire*. For. Chron. 85 : 558-570.

POTHIER, D. et F. SAVARD, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. 183 p.

PRÉGENT, G. et S. VÉGIARD, 2000. *Rendement anticipé des plantations d'épinette noire dans les domaines écologiques de la pessière noire*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de la sylviculture et du rendement des forêts. Note de recherche forestière nº 109. 12 p.

PRÉGENT, G., F. SAVARD et G. DÉSAULNIERS, 2001. *Tarif de cubage à diamètre et longueur variables d'utilisation pour le pin gris en plantation au Québec*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de la sylviculture et du rendement des forêts. Mémoire de recherche forestière nº 139. 41 p.

RODA, J.-M. et B. ISSALY, 1998. *Estimation des peupliers sur pied. Un nouvel outil pour déterminer les volumes par catégorie de produits*. Afocel. Informations-Forêt n° 3, fiche n° 572. 6 p.

RONDEUX, J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux. 521 p.

SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec*. Supplément de l'Aubelle, février-mars. 12 p.

SAS INSTITUTE INC., 2004a. *SAS/ETS® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAS INSTITUTE INC., 2004b. *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

STIELL, W.M. et A.B. BERRY, 1973. *Development of unthinned white spruce plantations to age 50 at the Petawawa Forest Experiment Station*. Canada For. Serv., Publ. No. 1317, Chalk River, ON. 18 p.

SULLIVAN, A.D. et J.L. CLUTTER, 1972. *A simultaneous growth and yield model for loblolly pine*. For. Sci. 18 : 76-86.

SUTTON, R.F., 1973. *Histoire naturelle de l'Épinette blanche* (Picea glauca *(Moench) Voss*). Ministère de l'Environnement, Service canadien des Forêts. Publication nº 1250F. 62 p.

THIBAUT, A., J. RONDEUX et H. CLAESSENS, 1998. *Tarifs de cubage pour l'Aulne glutineux [*Alnus glutinosa *(L.) Gaertn.] en Belgique méridionale*. Rev. For. Fr. 50 : 244-250.

UNG, C.-H., 1990. *Tarifs de cubage paramétrés : application à l'épinette noire de Lebel-sur-Quévillon*. Can. J. For. Res. 20 : 1471-1478.

WILSON, E., 1913. *Forest plantings in Québec. II. Planting by the Laurentide Company. In Forest protection in Canada, 1912*. Comm. Conserv. Can., Comm. For., Bryant Press, Toronto (Ont.). p. 136-137.

Annexes

Annexe A

Présentation de la méthode récursive utilisée pour la construction des modèles de croissance

Année $(t+1)$:

$$\hat{Y}_{t+1} = f(Y_t, A_t, A_{t+1}) + \varepsilon$$

Année $(t+2)$:

$$\hat{Y}_{t+2} = f(\hat{Y}_{t+1}, A_{t+1}, A_{t+2}) + \varepsilon$$

[...]

Année $(t+q)$:

$$Y_{t+q} = f(\hat{Y}_{t+q-1}, A_{t+q-1}, A_{t+q}) + \varepsilon$$

où

Y_t	=	Variable observée au temps t
Y_{t+q}	=	Variable observée au temps $t+q$
$\hat{Y}_{t+1}$, $\hat{Y}_{t+2}$, $\hat{Y}_{t+q-1}$	=	Variables estimées au temps $t+1$, $t+2$ et $t+q-1$ respectivement
A_t	=	Âge de la plantation au temps t
A_{t+q}	=	Âge de la plantation au temps $t+q$
q	=	Nombre d'années dans la période
$f(\ )$	=	Fonction
ε	=	Erreur résiduelle

Annexe B. Abaque d'estimation du volume total (dm^3) sans écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale

Dhp (cm)	Hauteur (m)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0,3	0,4	0,6																
3	0,6	0,9	1,3																
4	1,0	1,6	2,2																
5	1,5	2,4	3,4	4,4	5,4														
6	2,1	3,4	4,7	6,1	7,6	9,1	10,7	12,3	13,9										
7	2,8	4,4	6,2	8,1	10,1	12,1	14,1	16,3	18,4										
8			8,0	10,4	12,9	15,4	18,1	20,8	23,5										
9			9,9	12,9	16,0	19,2	22,4	25,8	29,2	32,6	36,2								
10			12,0	15,6	19,4	23,2	27,2	31,2	35,4	39,6	43,9	48,2	52,6						
11			14,3	18,6	23,1	27,7	32,4	37,2	42,1	47,1	52,2	57,4	62,7						
12			16,8	21,8	27,1	32,4	38,0	43,6	49,4	55,3	61,3	67,3	73,5	79,7	86,0	92,4	98,8		
13			19,4	25,3	31,3	37,6	44,0	50,5	57,2	64,0	71,0	78,0	85,1	92,3	99,6	107,0	114,5		
14					35,9	43,0	50,4	57,9	65,6	73,4	81,3	89,3	97,5	105,7	114,1	122,6	131,1		
15					40,7	48,8	57,2	65,7	74,4	83,2	92,2	101,4	110,6	120,0	129,5	139,1	148,8		
16							64,4	73,9	83,7	93,7	103,8	114,1	124,5	135,1	145,8	156,6	167,5		
17							71,9	82,6	93,6	104,7	116,0	127,5	139,1	150,9	162,9	175,0	187,2		
18							79,9	91,8	103,9	116,3	128,8	141,6	154,5	167,6	180,9	194,3	207,8		
19							88,2	101,3	114,7	128,4	142,3	156,3	170,6	185,1	199,7	214,5	229,5		
20									126,0	141,0	156,3	171,7	187,4	203,3	219,4	235,7	252,1		
21									137,8	154,2	170,9	187,8	205,0	222,3	239,9	257,7	275,7		
22									150,1	168,0	186,1	204,5	223,2	242,1	261,3	280,6	300,2	320,0	339,9
23									162,8	182,2	201,9	221,9	242,2	262,7	283,5	304,5	325,7	347,1	368,8
24													261,8	284,0	306,5	329,2	352,1	375,3	398,7
25													282,1	306,1	330,3	354,7	379,5	404,5	429,7
26													303,2	328,9	354,9	381,2	407,8	434,6	461,7
27													324,9	352,4	380,3	408,5	437,0	465,7	494,8
28													347,3	376,7	406,5	436,6	467,1	497,8	528,9
29													370,4	401,7	433,5	465,6	498,1	530,9	564,0
30														427,5	461,3	495,5	530,1	564,9	600,2
31														454,0	489,9	526,2	562,9	599,9	637,4
32														481,2	519,2	557,7	596,6	635,9	675,5
33																590,1	631,2	672,8	714,7

Volume total sans écorce estimé = $V_{ss} = 0{,}0344\ (DHP^{1{,}8329})\ (H^{1{,}1793})$

Annexe C. Abaque d'estimation du volume total (dm^3) avec écorce d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale

Dhp (cm)	Hauteur (m)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0,4	0,7	0,9																
3	0,9	1,4	1,8																
4	1,5	2,3	3,1																
5	2,3	3,5	4,7	5,9	7,1														
6	3,2	4,9	6,6	8,3	10,0	11,7	13,4	15,1	16,9										
7	4,3	6,5	8,7	11,0	13,2	15,5	17,8	20,1	22,4										
8			11,2	14,0	16,9	19,8	22,7	25,7	28,6										
9			13,9	17,4	21,0	24,6	28,2	31,9	35,5	39,2	42,8								
10			16,8	21,1	25,5	29,9	34,3	38,7	43,1	47,5	51,9	56,4	60,8						
11			20,0	25,2	30,4	35,6	40,8	46,0	51,3	56,6	61,9	67,2	72,5						
12			23,5	29,5	35,6	41,7	47,9	54,0	60,2	66,4	72,6	78,8	85,0	91,3	97,5	103,8	110,1		
13			27,2	34,2	41,3	48,3	55,4	62,6	69,7	76,9	84,1	91,3	98,5	105,7	113,0	120,2	127,5		
14					47,3	55,4	63,5	71,7	79,9	88,1	96,3	104,6	112,8	121,1	129,4	137,7	146,0		
15					53,7	62,9	72,1	81,4	90,7	100,0	109,3	118,7	128,1	137,5	146,9	156,3	165,8		
16							81,2	91,6	102,1	112,5	123,1	133,6	144,2	154,7	165,3	176,0	186,6		
17							90,7	102,4	114,1	125,8	137,5	149,3	161,1	173,0	184,8	196,7	208,6		
18							100,7	113,7	126,7	139,7	152,8	165,8	179,0	192,1	205,2	218,4	231,6		
19							111,3	125,6	139,9	154,3	168,7	183,1	197,6	212,1	226,7	241,2	255,8		
20									153,7	169,5	185,3	201,2	217,1	233,1	249,0	265,0	281,0		
21									168,1	185,4	202,7	220,1	237,5	254,9	272,4	289,8	307,4		
22									183,1	201,9	220,8	239,7	258,6	277,6	296,6	315,7	334,8	353,9	373,0
23									198,7	219,1	239,5	260,1	280,6	301,2	321,8	342,5	363,2	383,9	404,7
24													303,4	325,7	348,0	370,3	392,7	415,1	437,6
25													327,0	351,0	375,1	399,2	423,3	447,4	471,6
26													351,4	377,2	403,1	428,9	454,9	480,8	506,8
27													376,6	404,3	432,0	459,7	487,5	515,3	543,2
28													402,6	432,2	461,8	491,4	521,1	550,9	580,7
29													429,4	460,9	492,5	524,1	555,8	587,5	619,3
30														490,5	524,1	557,8	591,5	625,2	659,1
31														520,9	556,6	592,4	628,2	664,0	699,9
32														552,2	590,0	627,9	665,9	703,9	741,9
33																664,4	704,6	744,8	785,0

Volume total avec écorce estimé = $V_{ae} = 0{,}0592(DHP^{1{,}8353})\ (H^{1{,}0266})$

Annexe D. Abaque d'estimation de la proportion de volume sans écorce en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout (d)

Dhp (cm)	Diamètre minimal d'utilisation au fin bout (sur écorce) (cm)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	0,9481																				
3	0,9865	0,8633																			
4	0,9945	0,9481	0,7810																		
5	0,9972	0,9754	0,9031	0,7190																	
6	0,9985	0,9865	0,9481	0,8586	0,6697																
7	0,9991	0,9917	0,9691	0,9183	0,8176	0,6300															
8	0,9995	0,9945	0,9802	0,9481	0,8880	0,7810	0,5975														
9	0,9997	0,9962	0,9865	0,9651	0,9258	0,8586	0,7482	0,5707													
10	0,9998	0,9972	0,9904	0,9754	0,9481	0,9031	0,8308	0,7190	0,5481												
11	0,9999	0,9980	0,9929	0,9821	0,9624	0,9304	0,8805	0,8050	0,6930	0,5289											
12	0,9999	0,9985	0,9945	0,9865	0,9719	0,9481	0,9122	0,8586	0,7810	0,6697	0,5123										
13	0,9999	0,9988	0,9957	0,9896	0,9784	0,9604	0,9334	0,8940	0,8376	0,7587	0,6488	0,4980									
14	0,9999	0,9991	0,9966	0,9917	0,9831	0,9691	0,9481	0,9183	0,8760	0,8176	0,7381	0,6300	0,4854								
15	0,9999	0,9993	0,9972	0,9933	0,9865	0,9754	0,9589	0,9355	0,9031	0,8586	0,7988	0,7190	0,6130	0,4742							
16	0,9999	0,9995	0,9977	0,9945	0,9890	0,9802	0,9669	0,9481	0,9226	0,8880	0,8417	0,7810	0,7013	0,5975	0,4643						
17	0,9999	0,9996	0,9981	0,9955	0,9910	0,9837	0,9730	0,9577	0,9371	0,9096	0,8731	0,8255	0,7641	0,6849	0,5835	0,4555					
18	0,9999	0,9997	0,9985	0,9962	0,9924	0,9865	0,9776	0,9651	0,9481	0,9258	0,8966	0,8586	0,8100	0,7482	0,6697	0,5707	0,4475				
19	0,9999	0,9997	0,9987	0,9968	0,9936	0,9887	0,9813	0,9709	0,9568	0,9383	0,9145	0,8837	0,8427	0,7951	0,7332	0,6555	0,5589	0,4403			
20	0,9999	0,9998	0,9989	0,9972	0,9945	0,9904	0,9842	0,9754	0,9636	0,9481	0,9283	0,9031	0,8710	0,8308	**0,7810**	0,7190	0,6423	0,5481	0,4337		
21	0,9999	0,9998	0,9991	0,9976	0,9953	0,9917	0,9865	0,9791	0,9691	0,9560	0,9393	0,9183	0,8917	0,8586	0,8176	0,7674	0,7056	0,6300	0,5381	0,4277	
22	0,9999	0,9999	0,9992	0,9980	0,9959	0,9929	0,9884	0,9821	0,9735	0,9624	0,9481	0,9304	0,9081	0,8805	0,8464	0,8050	0,7545	0,6930	0,6184	0,5289	0,4222
23	0,9999	0,9999	0,9994	0,9982	0,9964	0,9938	0,9899	0,9845	0,9772	0,9676	0,9553	0,9401	0,9213	0,8980	0,8694	0,8347	0,7927	0,7421	0,6810	0,6076	0,5203
24	0,9999	0,9999	0,9995	0,9985	0,9969	0,9945	0,9912	0,9865	0,9802	0,9719	0,9613	0,9481	0,9320	0,9122	0,8880	0,8586	0,8232	0,7810	0,7303	0,6697	0,5975
25	0,9999	0,9999	0,9995	0,9987	0,9972	0,9952	0,9923	0,9882	0,9827	0,9754	0,9663	0,9548	0,9408	0,9238	0,9031	0,8780	0,8479	0,8122	0,7696	0,7190	0,6589
26	0,9998	0,9999	0,9996	0,9988	0,9976	0,9957	0,9931	0,9896	0,9847	0,9784	0,9704	0,9604	0,9481	0,9334	0,9155	0,8940	0,8682	0,8376	0,8014	0,7587	0,7082
27	0,9998	0,9999	0,9997	0,9990	0,9978	0,9962	0,9939	0,9907	0,9865	0,9810	0,9739	0,9651	0,9543	0,9414	0,9258	0,9072	0,8850	0,8586	0,8275	0,7910	0,7482
28	0,9998	0,9999	0,9997	0,9991	0,9981	0,9966	0,9945	0,9917	0,9880	0,9831	0,9769	0,9691	0,9596	0,9481	0,9345	0,9183	0,8989	0,8760	0,8491	0,8176	0,7810
29	0,9998	0,9999	0,9998	0,9992	0,9983	0,9969	0,9951	0,9926	0,9893	0,9849	0,9794	0,9725	0,9641	0,9539	0,9418	0,9276	0,9107	0,8907	0,8672	0,8399	0,8081
30	0,9998	0,9999	0,9998	0,9993	0,9985	0,9972	0,9956	0,9933	0,9904	0,9865	0,9816	0,9754	0,9679	0,9589	0,9481	0,9355	0,9206	0,9031	0,8825	0,8586	0,8308
31	0,9998	0,9999	0,9998	0,9994	0,9986	0,9975	0,9960	0,9940	0,9913	0,9879	0,9835	0,9780	0,9713	0,9632	0,9536	0,9423	0,9291	0,9136	0,8955	0,8744	0,8500
32	0,9998	0,9999	0,9998	0,9995	0,9988	0,9977	0,9964	0,9945	0,9921	0,9890	0,9851	0,9802	0,9741	0,9669	0,9583	0,9481	0,9363	0,9226	0,9066	0,8880	0,8664
33	0,9998	0,9999	0,9999	0,9995	0,9989	0,9980	0,9967	0,9950	0,9929	0,9901	0,9865	0,9821	0,9767	0,9701	0,9624	0,9532	0,9426	0,9304	0,9161	0,8996	0,8805

Proportion de volume sans écorce = $P_{dsé} = 0,9994 + 0,0159(d/dhp) - 0,1071(d/dhp)^2 - 0,1322(d/dhp)^3 - 0,5895\ I_a\ (d/dhp-0,2)^3 - 1,0263\ I_b\ (d/dhp-0,5)^3 - 1,8282\ I_c\ (d/dhp-0,7)^3$

où I_a =1 si d/DHP > 0,2, sinon sa valeur est de 0; I_b =1 si d/DHP > 0,5, sinon sa valeur est de 0; I_c =1 si d/DHP > 0,7, sinon sa valeur est de 0;

Exemple : Pour une tige de 20 cm de dhp, 78,10 % du volume sans écorce est compris entre la souche et un diamètre minimum d'utilisation au fin bout de 15 cm.

Annexe E. Abaque d'estimation de la proportion de volume avec écorce en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout (d)

DHP (cm)	Diamètre minimal d'utilisation au fin bout (sur écorce) (cm)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	0,9428																				
3	0,9846	0,8528																			
4	0,9936	0,9428	0,7696																		
5	0,9967	0,9724	0,8950	0,7073																	
6	0,9981	0,9846	0,9428	0,8488	0,6581																
7	0,9989	0,9904	0,9655	0,9110	0,8068	0,6187															
8	0,9993	0,9936	0,9776	0,9428	0,8792	0,7696	0,5867														
9	0,9995	0,9955	0,9846	0,9611	0,9190	0,8488	0,7366	0,5602													
10	0,9997	0,9967	0,9889	0,9724	0,9428	0,8950	0,8203	0,7073	0,5380												
11	0,9998	0,9976	0,9917	0,9797	0,9581	0,9238	0,8715	0,7939	0,6813	0,5191											
12	0,9998	0,9981	0,9936	0,9846	0,9685	0,9428	0,9046	0,8488	0,7696	0,6581	0,5029										
13	0,9998	0,9986	0,9950	0,9880	0,9757	0,9560	0,9270	0,8855	0,8272	0,7471	0,6373	0,4889									
14	0,9999	0,9989	0,9960	0,9904	0,9808	0,9655	0,9428	0,9110	0,8668	0,8068	0,7264	0,6187	0,4765								
15	0,9999	0,9991	0,9967	0,9923	0,9846	0,9724	0,9544	0,9293	0,8950	0,8488	0,7876	0,7073	0,6019	0,4656							
16	0,9999	0,9993	0,9973	0,9936	0,9874	0,9776	0,9631	0,9428	0,9156	0,8792	0,8314	0,7696	0,6896	0,5867	0,4560						
17	0,9999	0,9994	0,9978	0,9947	0,9895	0,9815	0,9697	0,9531	0,9310	0,9019	0,8638	0,8148	0,7526	0,6733	0,5728	0,4473					
18	0,9999	0,9995	0,9981	0,9955	0,9912	0,9846	0,9748	0,9611	0,9428	0,9190	0,8882	0,8488	0,7990	0,7366	0,6581	0,5602	0,4395				
19	0,9998	0,9996	0,9984	0,9962	0,9926	0,9870	0,9788	0,9674	0,9521	0,9323	0,9070	0,8748	0,8343	0,7839	0,7215	0,6440	0,5486	0,4325			
20	0,9998	0,9997	0,9987	0,9967	0,9936	0,9889	0,9820	0,9724	0,9595	0,9428	0,9217	0,8950	0,8616	0,8203	**0,7696**	0,7073	0,6309	0,5380	0,4261		
21	0,9998	0,9997	0,9989	0,9972	0,9945	0,9904	0,9846	0,9764	0,9655	0,9513	0,9334	0,9110	0,8831	0,8488	0,8068	0,7559	0,6939	0,6187	0,5282	0,4202	
22	0,9998	0,9998	0,9990	0,9976	0,9952	0,9917	0,9867	0,9797	0,9703	0,9581	0,9428	0,9238	0,9003	0,8715	0,8363	0,7939	0,7428	0,6813	0,6073	0,5191	0,4149
23	0,9998	0,9998	0,9992	0,9979	0,9958	0,9927	0,9884	0,9823	0,9743	0,9638	0,9506	0,9342	0,9142	0,8897	0,8600	0,8242	0,7815	0,7304	0,6694	0,5967	0,5107
24	0,9998	0,9998	0,9993	0,9981	0,9963	0,9936	0,9898	0,9846	0,9776	0,9685	0,9570	0,9428	0,9256	0,9046	0,8792	0,8488	0,8125	0,7696	0,7186	0,6581	0,5867
25	0,9998	0,9998	0,9994	0,9984	0,9967	0,9944	0,9910	0,9864	0,9803	0,9724	0,9624	0,9500	0,9350	0,9168	0,8950	0,8689	0,8378	0,8012	0,7581	0,7073	0,6474
26	0,9998	0,9998	0,9995	0,9986	0,9971	0,9950	0,9920	0,9880	0,9826	0,9757	0,9669	0,9560	0,9428	0,9270	0,9081	0,8855	0,8587	0,8272	0,7903	0,7471	0,6965
27	0,9998	0,9999	0,9995	0,9987	0,9974	0,9955	0,9929	0,9893	0,9846	0,9784	0,9707	0,9611	0,9495	0,9356	0,9190	0,8994	0,8761	0,8488	0,8169	0,7798	0,7366
28	0,9997	0,9999	0,9996	0,9989	0,9977	0,9960	0,9936	0,9904	0,9862	0,9808	0,9739	0,9655	0,9551	0,9428	0,9282	0,9110	0,8907	0,8668	0,8390	0,8068	0,7696
29	0,9997	0,9999	0,9996	0,9990	0,9979	0,9964	0,9943	0,9914	0,9877	0,9828	0,9767	0,9692	0,9600	0,9490	0,9361	0,9209	0,9030	0,8821	0,8577	0,8295	0,7971
30	0,9997	0,9999	0,9997	0,9991	0,9981	0,9967	0,9948	0,9923	0,9889	0,9846	0,9791	0,9724	0,9642	0,9544	0,9428	0,9293	0,9135	0,8950	0,8736	0,8488	0,8203
31	0,9997	0,9999	0,9997	0,9992	0,9983	0,9970	0,9953	0,9930	0,9900	0,9861	0,9812	0,9751	0,9678	0,9590	0,9487	0,9365	0,9225	0,9061	0,8871	0,8652	0,8400
32	0,9997	0,9999	0,9997	0,9993	0,9985	0,9973	0,9957	0,9936	0,9909	0,9874	0,9830	0,9776	0,9710	0,9631	0,9537	0,9428	0,9302	0,9156	0,8987	0,8792	0,8569
33	0,9997	0,9999	0,9998	0,9994	0,9986	0,9976	0,9961	0,9942	0,9917	0,9885	0,9846	0,9797	0,9737	0,9666	0,9581	0,9483	0,9369	0,9238	0,9087	0,8914	0,8715

Proportion de volume avec écorce = $P_{déc} = 0,9993 + 0,0169(d/dhp) - 0,1151(d/dhp)^2 - 0,1691(d/dhp)^3 - 0,5561\ I_a\ (d/dhp-0,2)^3 - 0,8694\ I_b\ (d/dhp-0,5)^3 - 1,7024\ I_c\ (d/dhp-0,7)^3$

où I_a =1 si d/DHP > 0,2, sinon sa valeur est de 0; I_b =1 si d/DHP > 0,5, sinon sa valeur est de 0; I_c =1 si d/DHP > 0,7, sinon sa valeur est de 0;

Exemple : Pour une tige de 20 cm de dhp, 76,96 % du volume avec écorce est compris entre la souche et un diamètre minimum d'utilisation au fin bout de 15 cm.

Annexe F. Abaque d'estimation du volume marchand (dm^3) d'une tige d'épinette blanche en plantation en fonction du dhp et de la hauteur totale

Dhp (cm)	Hauteur (m)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9			2,9	3,8	4,7	5,7	6,6	7,6	8,6	9,7	10,7								
10			6,6	8,6	10,6	12,7	14,9	17,1	19,4	21,7	24,0	26,4	28,8						
11			9,9	12,9	16,0	19,2	22,4	25,8	29,2	32,7	36,2	39,8	43,4						
12			13,1	17,0	21,1	25,3	29,7	34,1	38,6	43,2	47,9	52,6	57,4	62,3	67,2	72,2	77,2		
13			16,3	21,2	26,2	31,5	36,8	42,3	47,9	53,6	59,4	65,3	71,3	77,3	83,4	89,6	95,9		
14					31,4	37,7	44,1	50,7	57,4	64,3	71,2	78,3	85,4	92,6	100,0	107,4	114,9		
15					36,8	44,1	51,6	59,3	67,2	75,2	83,3	91,5	99,9	108,4	116,9	125,6	134,4		
16							59,4	68,2	77,3	86,4	95,8	105,3	114,9	124,6	134,5	144,4	154,5		
17							67,4	77,4	87,7	98,1	108,7	119,5	130,4	141,4	152,6	163,9	175,4		
18							75,7	87,0	98,5	110,2	122,2	134,2	146,5	158,9	171,5	184,2	197,0		
19							84,4	96,9	109,8	122,8	136,1	149,6	163,2	177,1	191,1	205,2	219,6		
20									121,5	135,9	150,6	165,5	180,6	195,9	211,4	227,1	242,9		
21									133,6	149,5	165,6	182,0	198,6	215,5	232,5	249,7	267,2		
22									146,1	163,5	181,2	199,1	217,3	235,7	254,4	273,2	292,3	311,5	330,9
23									159,1	178,1	197,3	216,8	236,6	256,7	277,0	297,5	318,3	339,2	360,4
24									172,6	193,1	214,0	235,1	256,6	278,4	300,4	322,6	345,1	367,9	390,8
25													277,3	300,8	324,5	348,6	372,9	397,5	422,2
26													298,6	323,9	349,5	375,4	401,5	428,0	454,7
27													320,5	347,7	375,2	403,0	431,1	459,5	488,1
28													343,1	372,2	401,6	431,4	461,5	491,9	522,5
29													366,4	397,4	428,9	460,7	492,8	525,2	558,0
30														423,4	456,9	490,7	525,0	559,5	594,4
31														450,1	485,6	521,6	558,0	594,7	631,8
32														477,4	515,2	553,3	591,9	630,9	670,2
33																585,9	626,7	668,0	709,6

* Volume marchand estimé = $(0{,}9994 + 0{,}0159(9/dhp) - 0{,}1071(9/dhp)^2 - 0{,}1322(9/dhp)^3 - 0{,}5895\ I_a\ (9/dhp-0{,}2)^3 - 1{,}0263\ I_b\ (9/dhp-0{,}5)^3 - 1{,}8282\ I_c\ (9/dhp-0{,}7)^3) * (0{,}0344\ (DHP^{1{,}8329})\ (H^{1{,}1793}))$

où I_a =1 si 9/DHP > 0,2, sinon sa valeur est de 0; I_b =1 si 9/DHP > 0,5, sinon sa valeur est de 0; I_c =1 si 9/DHP > 0,7, sinon sa valeur est de 0.

Annexe G. Abaque d'estimation de la proportion de volume sans écorce en fonction de la hauteur totale de l'arbre et de la longueur apicale rejetée

H (m)	Longueur apicale rejetée (H-h) (m)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	0,8256																				
3	0,9426	0,6330																			
4	0,9766	0,8256	0,5044																		
5	0,9900	0,9041	0,7199	0,4160																	
6	0,9963	0,9426	0,8256	0,6330	0,3523																
7	0,9995	0,9639	0,8843	0,7530	0,5623	0,3043															
8		0,9766	0,9198	0,8256	0,6889	0,5044	0,2669														
9		0,9847	0,9426	0,8724	0,7704	0,6330	0,4564	0,2370													
10		0,9900	0,9580	0,9041	0,8256	0,7199	0,5843	0,4160	0,2126												
11		0,9937	0,9688	0,9264	0,8645	0,7811	0,6742	0,5417	0,3817	0,1922											
12		0,9963	0,9766	0,9426	0,8928	0,8256	0,7395	0,6330	0,5044	0,3523	0,1751										
13		0,9982	0,9824	0,9547	0,9140	0,8589	0,7883	0,7010	0,5958	0,4714	0,3267	0,1603									
14		0,9995	0,9867	0,9639	0,9301	0,8843	0,8256	0,7530	0,6656	0,5623	0,4422	0,3043	0,1476								
15			0,9900	0,9710	0,9426	0,9041	0,8547	0,7936	0,7199	0,6330	0,5319	0,4160	0,2845	0,1365							
16			0,9926	0,9766	0,9526	0,9198	0,8777	0,8256	0,7629	0,6889	0,6029	0,5044	0,3926	0,2669	0,1266						
17			0,9947	0,9811	0,9605	0,9324	0,8962	0,8514	0,7975	0,7338	0,6600	0,5753	0,4793	0,3714	0,2512	0,1179					
18			0,9963	0,9847	0,9670	0,9426	0,9113	0,8724	0,8256	0,7704	0,7064	0,6330	0,5498	0,4564	0,3523	0,2370	0,1101				
19			0,9976	0,9876	0,9722	0,9511	0,9237	0,8897	0,8488	0,8006	0,7446	0,6804	0,6078	0,5262	0,4354	0,3348	0,2242	0,1031			
20			0,9987	0,9900	0,9766	0,9580	0,9340	**0,9041**	0,8681	0,8256	0,7763	0,7199	0,6560	0,5843	0,5044	0,4160	0,3189	0,2126	0,0968		
21			0,9995	0,9921	0,9803	0,9639	0,9426	0,9162	0,8843	0,8467	0,8030	0,7530	0,6965	0,6330	0,5623	0,4841	0,3982	0,3043	0,2020	0,0910	
22				0,9937	0,9833	0,9688	0,9499	0,9264	0,8980	0,8645	0,8256	0,7811	0,7307	0,6742	0,6113	0,5417	0,4653	0,3817	0,2908	0,1922	0,0858

Proportion de volume sans écorce = $P_{hsé} = 0,9990 + 0,1121((H-h)/H) - 0,6954((H-h)/H)^2 - 0,4445((H-h)/H)^3$

Exemple : Pour un arbre de 20 m de hauteur (soit une tige de 19,85 m en excluant la hauteur de souche de 0,15 m), 90,41 % du volume sans écorce est compris entre la souche et une distance de 8 m à partir de l'apex de l'arbre (soit 12 m au-dessus du sol ou 11,85 m au-dessus de la souche).

Pour connaître la longueur de billon obtenue, il faut utiliser la formule suivante : $L_{billon} = H - (H-h) - 0,15$ m

Annexe H. Abaque d'estimation de la proportion de volume avec écorce en fonction de la hauteur totale de l'arbre et de la longueur apicale rejetée

H (m)	Longueur apicale rejetée (H-h) (m)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	0,8160																				
3	0,9367	0,6219																			
4	0,9728	0,8160	0,4942																		
5	0,9874	0,8966	0,7090	0,4071																	
6	0,9944	0,9367	0,8160	0,6219	0,3444																
7	0,9981	0,9592	0,8761	0,7424	0,5516	0,2973															
8		0,9728	0,9128	0,8160	0,6778	0,4942	0,2608														
9		0,9815	0,9367	0,8639	0,7599	0,6219	0,4468	0,2316													
10		0,9874	0,9530	0,8966	0,8160	0,7090	0,5734	0,4071	0,2077												
11		0,9915	0,9645	0,9198	0,8557	0,7707	0,6631	0,5312	0,3733	0,1879											
12		0,9944	0,9728	0,9367	0,8849	0,8160	0,7287	0,6219	0,4942	0,3444	0,1711										
13		0,9965	0,9790	0,9494	0,9068	0,8500	0,7781	0,6900	0,5849	0,4616	0,3193	0,1568									
14		0,9981	0,9838	0,9592	0,9236	0,8761	0,8160	0,7424	0,6545	0,5516	0,4328	0,2973	0,1444								
15		0,9992	0,9874	0,9668	0,9367	0,8966	0,8457	0,7833	0,7090	0,6219	0,5215	0,4071	0,2780	0,1336							
16			0,9903	0,9728	0,9472	0,9128	0,8693	0,8160	0,7523	0,6778	0,5920	0,4942	0,3840	0,2608	0,1240						
17			0,9926	0,9776	0,9556	0,9260	0,8884	0,8423	0,7873	0,7230	0,6489	0,5645	0,4694	0,3632	0,2454	0,1155					
18			0,9944	0,9815	0,9625	0,9367	0,9040	0,8639	0,8160	0,7599	0,6954	0,6219	0,5392	0,4468	0,3444	0,2316	0,1080				
19			0,9959	0,9848	0,9681	0,9456	0,9169	0,8817	0,8396	0,7905	0,7338	0,6694	0,5968	0,5158	0,4261	0,3273	0,2191	0,1011			
20			0,9971	0,9874	0,9728	0,9530	0,9277	**0,8966**	0,8594	0,8160	0,7659	0,7090	0,6449	0,5734	0,4942	0,4071	0,3116	0,2077	0,0950		
21			0,9981	0,9896	0,9767	0,9592	0,9367	0,9091	0,8761	0,8375	0,7930	0,7424	0,6854	0,6219	0,5516	0,4742	0,3895	0,2973	0,1974	0,0894	
22			0,9989	0,9915	0,9801	0,9645	0,9444	0,9198	0,8903	0,8557	0,8160	0,7707	0,7199	0,6631	0,6003	0,5312	0,4556	0,3733	0,2842	0,1879	0,0843

Proportion de volume avec écorce = $P_{hé} = 0,9991 + 0,1101((H-h)/H) - 0,7695((H-h)/H)^2 - 0,3665((H-h)/H)^3$

Exemple : Pour un arbre de 20 m de hauteur (soit une tige de 19,85 m en excluant la hauteur de souche de 0,15 m), 89,66 % du volume avec écorce est compris entre la souche et une distance de 8 m à partir de l'apex de l'arbre (soit 12 m au-dessus du sol ou 11,85 m au-dessus de la souche).

Pour connaître la longueur de billon obtenue, il faut utiliser la formule suivante : $L_{billon} = H - (H-h) - 0,15$ m

Annexe I

Abaque d'estimation de la hauteur dominante (m) d'une plantation d'épinette blanche en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	0,41	0,53	0,66	0,79	0,93	1,07	1,23	1,39	1,56	1,73	1,92
6	0,54	0,70	0,86	1,03	1,21	1,39	1,59	1,79	2,01	2,23	2,47
7	0,68	0,87	1,07	1,28	1,50	1,73	1,97	2,22	2,48	2,76	3,05
8	0,82	1,05	1,29	1,55	1,81	2,08	2,37	2,67	2,98	3,30	3,64
9	0,97	1,25	1,53	1,82	2,13	2,45	2,78	3,13	3,49	3,86	4,25
10	1,13	1,45	1,77	2,11	2,46	2,83	3,20	3,60	4,01	4,43	4,87
11	1,30	1,65	2,02	2,41	2,80	3,21	3,64	4,08	4,54	5,01	5,50
12	1,47	1,87	2,28	2,71	3,15	3,61	4,08	4,57	5,07	5,59	6,13
13	1,64	2,09	2,55	3,02	3,51	4,01	4,53	5,06	5,61	6,18	6,77
14	1,82	2,31	2,82	3,34	3,87	4,42	4,98	5,56	6,15	6,77	7,40
15	2,00	2,54	3,09	3,66	4,24	4,83	5,44	6,06	6,70	7,36	8,03
16	2,19	2,77	3,37	3,98	4,60	5,24	5,89	6,56	7,24	7,94	8,66
17	2,38	3,01	3,65	4,31	4,98	5,66	6,35	7,06	7,79	8,53	9,28
18	2,58	3,25	3,94	4,64	5,35	6,08	6,81	7,56	8,33	9,11	9,90
19	2,77	3,50	4,23	4,97	5,73	6,50	7,27	8,06	8,87	9,68	10,51
20	2,97	3,74	4,52	5,31	6,11	6,92	7,73	8,56	9,40	10,25	11,11
21	3,17	3,99	4,81	5,65	6,49	7,34	8,19	9,06	9,93	10,82	11,71
22	3,38	4,24	5,11	5,98	6,87	7,75	8,65	9,55	10,46	11,37	12,30
23	3,58	4,49	5,40	6,32	7,24	8,17	9,10	10,04	10,98	11,92	12,87
24	3,79	4,75	5,70	6,66	7,62	8,59	9,55	10,52	11,49	12,47	13,44
25	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00
26	4,21	5,26	6,30	7,34	8,38	9,41	10,44	11,47	12,50	13,53	14,55
27	4,42	5,51	6,60	7,68	8,75	9,82	10,88	11,94	13,00	14,04	15,09
28	4,64	5,77	6,90	8,01	9,12	10,23	11,32	12,41	13,48	14,55	15,61
29	4,85	6,03	7,20	8,35	9,50	10,63	11,75	12,86	13,96	15,05	16,13
30	5,06	6,29	7,49	8,69	9,86	11,03	12,18	13,31	14,43	15,54	16,63
31	5,28	6,54	7,79	9,02	10,23	11,42	12,60	13,76	14,90	16,02	17,13
32	5,50	6,80	8,09	9,35	10,59	11,82	13,02	14,20	15,36	16,49	17,61
33	5,71	7,06	8,39	9,68	10,96	12,20	13,43	14,63	15,80	16,96	18,08
34	5,93	7,32	8,68	10,01	11,31	12,59	13,84	15,05	16,25	17,41	18,55
35	6,15	7,58	8,98	10,34	11,67	12,97	14,24	15,47	16,68	17,85	19,00
36	6,36	7,84	9,27	10,66	12,02	13,35	14,63	15,89	17,10	18,29	19,44
37	6,58	8,09	9,56	10,99	12,37	13,72	15,02	16,29	17,52	18,71	19,87
38	6,80	8,35	9,85	11,31	12,72	14,08	15,41	16,69	17,93	19,13	20,29
39	7,02	8,61	10,14	11,63	13,06	14,45	15,79	17,08	18,33	19,54	20,70
40	7,23	8,86	10,43	11,94	13,40	14,80	16,16	17,47	18,72	19,93	21,10
41	7,45	9,12	10,72	12,25	13,73	15,16	16,53	17,84	19,11	20,32	21,49
42	7,67	9,37	11,00	12,56	14,07	15,51	16,89	18,22	19,49	20,70	21,87
43	7,89	9,62	11,28	12,87	14,39	15,85	17,25	18,58	19,86	21,07	22,24
44	8,10	9,87	11,56	13,18	14,72	16,19	17,60	18,94	20,22	21,44	22,60
45	8,32	10,12	11,84	13,48	15,04	16,53	17,94	19,29	20,57	21,79	22,95
46	8,53	10,37	12,12	13,78	15,36	16,86	18,28	19,63	20,92	22,14	23,29
47	8,75	10,62	12,39	14,08	15,67	17,18	18,61	19,97	21,26	22,47	23,62
48	8,96	10,87	12,67	14,37	15,98	17,50	18,94	20,30	21,59	22,80	23,94
49	9,18	11,11	12,94	14,66	16,28	17,82	19,26	20,63	21,91	23,12	24,26
50	9,39	11,36	13,21	14,95	16,59	18,13	19,58	20,95	22,23	23,44	24,56
51	9,60	11,60	13,47	15,23	16,88	18,44	19,89	21,26	22,54	23,74	24,86
52	9,81	11,84	13,74	15,51	17,18	18,74	20,20	21,57	22,84	24,04	25,15
53	10,03	12,08	14,00	15,79	17,47	19,03	20,50	21,87	23,14	24,33	25,43
54	10,24	12,32	14,26	16,07	17,75	19,33	20,79	22,16	23,43	24,61	25,71
55	10,45	12,56	14,52	16,34	18,04	19,61	21,08	22,45	23,71	24,89	25,97
56	10,65	12,79	14,77	16,61	18,31	19,90	21,37	22,73	23,99	25,16	26,23
57	10,86	13,02	15,02	16,87	18,59	20,18	21,65	23,00	24,26	25,42	26,48
58	11,07	13,26	15,27	17,14	18,86	20,45	21,92	23,27	24,52	25,67	26,73
59	11,27	13,49	15,52	17,40	19,13	20,72	22,19	23,54	24,78	25,92	26,97
60	11,48	13,72	15,77	17,65	19,39	20,98	22,45	23,80	25,03	26,16	27,20

* Hauteur dominante estimée$_2$ = 34,6683 (1 - (1 - (Hauteur dominante$_1$ / 34,6683) $^{1/1,5077}$) $^{A2/A1}$) ^{1,5077}

Annexe J

Abaque d'estimation de la croissance annuelle en hauteur dominante (cm) d'une plantation d'épinette blanche en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	11,6	14,9	18,3	21,9	25,6	29,5	33,5	37,8	42,2	46,8	51,7
6	12,7	16,2	19,9	23,7	27,7	31,8	36,1	40,5	45,2	50,0	55,0
7	13,6	17,4	21,2	25,3	29,4	33,7	38,2	42,8	47,5	52,4	57,6
8	14,4	18,4	22,4	26,6	30,9	35,3	39,9	44,6	49,4	54,4	59,5
9	15,2	19,3	23,5	27,7	32,1	36,7	41,3	46,0	50,9	55,9	61,0
10	15,8	20,1	24,4	28,7	33,2	37,8	42,4	47,2	52,0	57,0	62,0
11	16,4	20,8	25,2	29,6	34,1	38,7	43,4	48,1	52,9	57,8	62,7
12	17,0	21,4	25,9	30,4	34,9	39,5	44,2	48,9	53,6	58,3	63,2
13	17,5	22,0	26,5	31,0	35,6	40,2	44,8	49,4	54,0	58,7	63,3
14	17,9	22,5	27,0	31,6	36,1	40,7	45,2	49,8	54,3	58,8	63,3
15	18,4	22,9	27,5	32,1	36,6	41,1	45,6	50,0	54,5	58,8	63,1
16	18,7	23,3	27,9	32,5	37,0	41,4	45,8	50,2	54,5	58,7	62,8
17	19,1	23,7	28,3	32,8	37,3	41,7	46,0	50,2	54,4	58,4	62,4
18	19,4	24,0	28,6	33,1	37,5	41,8	46,0	50,1	54,1	58,0	61,8
19	19,7	24,3	28,9	33,3	37,7	41,9	46,0	50,0	53,9	57,6	61,1
20	19,9	24,6	29,1	33,5	37,8	41,9	45,9	49,8	53,5	57,0	60,4
21	20,2	24,8	29,3	33,7	37,9	41,9	45,8	49,5	53,0	56,4	59,6
22	20,4	25,0	29,5	33,8	37,9	41,8	45,6	49,2	52,5	55,7	58,7
23	20,6	25,2	29,6	33,8	37,9	41,7	45,4	48,8	52,0	55,0	57,8
24	20,8	25,3	29,7	33,9	37,8	41,6	45,1	48,4	51,4	54,2	56,8
25	20,9	25,5	29,8	33,9	37,7	41,4	44,7	47,9	50,8	53,4	55,8
26	21,1	25,6	29,9	33,9	37,6	41,1	44,4	47,4	50,1	52,6	54,8
27	21,2	25,7	29,9	33,8	37,5	40,9	44,0	46,8	49,4	51,7	53,7
28	21,3	25,7	29,9	33,7	37,3	40,6	43,6	46,3	48,7	50,8	52,7
29	21,4	25,8	29,9	33,6	37,1	40,3	43,1	45,7	48,0	49,9	51,6
30	21,5	25,8	29,8	33,5	36,9	39,9	42,7	45,1	47,2	49,0	50,5
31	21,5	25,9	29,8	33,4	36,7	39,6	42,2	44,5	46,5	48,1	49,5
32	21,6	25,9	29,7	33,2	36,4	39,2	41,7	43,8	45,7	47,2	48,4
33	21,7	25,9	29,7	33,1	36,1	38,8	41,2	43,2	44,9	46,2	47,3
34	21,7	25,8	29,6	32,9	35,8	38,4	40,7	42,5	44,1	45,3	46,2
35	21,7	25,8	29,5	32,7	35,6	38,0	40,1	41,9	43,3	44,4	45,1
36	21,8	25,8	29,3	32,5	35,2	37,6	39,6	41,2	42,5	43,4	44,1
37	21,8	25,7	29,2	32,3	34,9	37,2	39,0	40,5	41,7	42,5	43,0
38	21,8	25,7	29,1	32,0	34,6	36,7	38,5	39,9	40,9	41,6	42,0
39	21,8	25,6	28,9	31,8	34,2	36,3	37,9	39,2	40,1	40,7	40,9
40	21,8	25,5	28,8	31,6	33,9	35,8	37,3	38,5	39,3	39,8	39,9
41	21,7	25,4	28,6	31,3	33,5	35,4	36,8	37,8	38,5	38,9	38,9
42	21,7	25,4	28,4	31,0	33,2	34,9	36,2	37,1	37,7	38,0	37,9
43	21,7	25,3	28,3	30,8	32,8	34,4	35,6	36,5	37,0	37,1	37,0
44	21,6	25,1	28,1	30,5	32,4	34,0	35,1	35,8	36,2	36,2	36,0
45	21,6	25,0	27,9	30,2	32,1	33,5	34,5	35,1	35,4	35,4	35,1
46	21,6	24,9	27,7	29,9	31,7	33,0	33,9	34,5	34,7	34,5	34,1
47	21,5	24,8	27,5	29,6	31,3	32,5	33,4	33,8	33,9	33,7	33,2
48	21,5	24,7	27,3	29,4	30,9	32,1	32,8	33,1	33,2	32,9	32,3
49	21,4	24,5	27,1	29,1	30,5	31,6	32,2	32,5	32,4	32,1	31,5
50	21,3	24,4	26,9	28,8	30,2	31,1	31,7	31,9	31,7	31,3	30,6
51	21,3	24,3	26,6	28,5	29,8	30,6	31,1	31,2	31,0	30,5	29,8
52	21,2	24,1	26,4	28,2	29,4	30,2	30,6	30,6	30,3	29,8	29,0
53	21,1	24,0	26,2	27,8	29,0	29,7	30,0	30,0	29,6	29,0	28,2
54	21,0	23,8	26,0	27,5	28,6	29,2	29,5	29,4	29,0	28,3	27,4
55	20,9	23,7	25,7	27,2	28,2	28,8	28,9	28,8	28,3	27,6	26,6
56	20,9	23,5	25,5	26,9	27,8	28,3	28,4	28,2	27,6	26,9	25,9
57	20,8	23,4	25,3	26,6	27,5	27,9	27,9	27,6	27,0	26,2	25,2
58	20,7	23,2	25,0	26,3	27,1	27,4	27,4	27,0	26,4	25,5	24,4
59	20,6	23,0	24,8	26,0	26,7	27,0	26,9	26,4	25,8	24,9	23,8
60	20,5	22,9	24,6	25,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,1	24,2	23,1

Annexe K. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 4 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	0,82	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	9,1	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	1657	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,97	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	9,1	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	2052	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
10	1,13	0,4	0,0	0,0	0,0	1,4	9,1	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	2444	2	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
11	1,30	0,6	0,0	0,0	0,0	1,7	9,2	.	.	0,2	0,1	0,0	0,0	2822	6	0	0	0,02	0,01	0,00	0,00
12	1,47	1,0	0,1	0,0	0,0	2,0	9,2	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	3177	18	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
13	1,64	1,6	0,3	0,0	0,0	2,4	9,2	.	.	0,7	0,3	0,1	0,0	3499	43	2	0	0,06	0,02	0,01	0,00
14	1,82	2,2	0,6	0,1	0,0	2,7	9,3	.	.	1,2	0,5	0,2	0,0	3787	86	5	0	0,09	0,04	0,01	0,00
15	2,00	3,0	1,1	0,2	0,0	3,1	9,4	.	.	1,8	0,8	0,3	0,1	4035	152	14	0	0,12	0,06	0,02	0,00
16	2,19	4,0	1,7	0,4	0,0	3,4	9,5	.	.	2,7	1,3	0,6	0,1	4245	243	32	1	0,17	0,08	0,03	0,01
17	2,38	5,0	2,6	0,7	0,1	3,8	9,5	.	.	3,7	2,0	0,9	0,3	4416	358	64	4	0,22	0,12	0,05	0,02
18	2,58	6,1	3,6	1,2	0,2	4,1	9,6	.	.	5,0	3,0	1,4	0,5	4550	494	111	11	0,28	0,16	0,08	0,03
19	2,77	7,3	4,8	2,0	0,4	4,5	9,7	12,0	.	6,5	4,1	2,1	0,8	4649	644	175	23	0,34	0,22	0,11	0,04
20	2,97	8,6	6,1	2,9	0,7	4,8	9,8	12,1	.	8,2	5,5	3,1	1,2	4717	803	256	43	0,41	0,27	0,15	0,06
21	3,17	9,9	7,5	4,1	1,2	5,1	9,9	12,2	.	10,1	7,1	4,2	1,8	4756	965	350	72	0,48	0,34	0,20	0,08
22	3,38	11,2	8,9	5,4	1,9	5,5	10,0	12,2	.	12,3	9,0	5,6	2,5	4770	1125	456	112	0,56	0,41	0,25	0,11
23	3,58	12,4	10,4	6,8	2,7	5,8	10,2	12,3	.	14,7	11,1	7,2	3,4	4762	1279	567	163	0,64	0,48	0,31	0,15
24	3,79	13,7	11,8	8,2	3,8	6,1	10,3	12,4	.	17,2	13,4	9,0	4,6	4735	1423	682	222	0,72	0,56	0,38	0,19
25	4,00	14,9	13,2	9,7	4,9	6,4	10,4	12,5	.	20,0	16,0	11,1	5,9	4693	1557	795	289	0,80	0,64	0,44	0,24
26	4,21	16,1	14,6	11,2	6,2	6,7	10,5	12,6	.	22,9	18,7	13,4	7,5	4637	1678	905	360	0,88	0,72	0,51	0,29
27	4,42	17,3	15,8	12,6	7,5	6,9	10,6	12,6	.	25,9	21,6	15,9	9,2	4570	1787	1009	434	0,96	0,80	0,59	0,34
28	4,64	18,4	17,1	14,0	8,9	7,2	10,7	12,7	.	29,0	24,7	18,5	11,2	4495	1883	1105	508	1,04	0,88	0,66	0,40
29	4,85	19,4	18,2	15,4	10,2	7,5	10,9	12,8	.	32,3	27,8	21,4	13,3	4413	1966	1193	581	1,11	0,96	0,74	0,46
30	5,06	20,4	19,3	16,6	11,6	7,8	11,0	12,9	15,0	35,7	31,1	24,4	15,7	4326	2036	1273	650	1,19	1,04	0,81	0,52
31	5,28	21,4	20,4	17,8	12,8	8,0	11,1	13,0	15,1	39,1	34,5	27,5	18,2	4236	2100	1343	716	1,26	1,11	0,89	0,59
32	5,50	22,3	21,4	18,9	14,0	8,3	11,2	13,1	15,2	42,7	38,0	30,7	20,8	4144	2151	1406	776	1,33	1,19	0,96	0,65
33	5,71	23,2	22,3	19,9	15,2	8,5	11,4	13,2	15,2	46,3	41,6	34,0	23,6	4050	2193	1460	832	1,40	1,26	1,03	0,72
34	5,93	24,0	23,1	20,8	16,2	8,8	11,5	13,3	15,3	49,9	45,2	37,4	26,6	3956	2227	1507	882	1,47	1,33	1,10	0,78
35	6,15	24,7	23,9	21,7	17,2	9,0	11,6	13,4	15,4	53,7	48,8	40,9	29,6	3862	2254	1547	926	1,53	1,40	1,17	0,84
36	6,36	25,5	24,7	22,5	18,2	9,3	11,8	13,5	15,5	57,4	52,5	44,4	32,7	3770	2274	1581	966	1,59	1,46	1,23	0,91

Annexe K (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 4 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 16 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 16 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 16 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 16 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 16 cm
37	6,58	26,1	25,4	23,3	19,0	9,5	11,9	13,6	15,6	61,2	56,3	48,0	35,9	3678	2289	1610	1001	1,65	1,52	1,30	0,97
38	6,80	26,8	26,0	24,0	19,8	9,8	12,0	13,7	15,6	65,1	60,1	51,6	39,1	3589	2298	1633	1031	1,71	1,58	1,36	1,03
39	7,02	27,4	26,7	24,6	20,5	10,0	12,1	13,8	15,7	68,9	63,9	55,3	42,5	3501	2303	1652	1057	1,77	1,64	1,42	1,09
40	7,23	28,0	27,2	25,2	21,2	10,2	12,3	13,9	15,8	72,8	67,7	58,9	45,8	3416	2303	1667	1080	1,82	1,69	1,47	1,15
41	7,45	28,6	27,8	25,8	21,8	10,4	12,4	14,0	15,9	76,8	71,5	62,6	49,2	3333	2301	1678	1099	1,87	1,74	1,53	1,20
42	7,67	29,1	28,3	26,3	22,4	10,7	12,5	14,1	16,0	80,7	75,4	66,4	52,7	3252	2295	1687	1115	1,92	1,80	1,58	1,25
43	7,89	29,6	28,8	26,8	22,9	10,9	12,7	14,2	16,1	84,7	79,3	70,1	56,1	3174	2286	1692	1129	1,97	1,84	1,63	1,31
44	8,10	30,1	29,3	27,3	23,4	11,1	12,8	14,3	16,2	88,7	83,2	73,8	59,6	3099	2275	1695	1140	2,02	1,89	1,68	1,36
45	8,32	30,5	29,8	27,8	23,9	11,3	12,9	14,4	16,3	92,8	87,1	77,6	63,1	3026	2262	1696	1149	2,06	1,94	1,72	1,40
46	8,53	31,0	30,2	28,2	24,3	11,5	13,1	14,6	16,4	96,8	91,0	81,3	66,6	2956	2248	1695	1156	2,10	1,98	1,77	1,45
47	8,75	31,4	30,6	28,6	24,7	11,8	13,2	14,7	16,5	100,9	95,0	85,1	70,2	2889	2232	1692	1161	2,15	2,02	1,81	1,49
48	8,96	31,8	31,0	29,0	25,1	12,0	13,4	14,8	16,6	105,0	98,9	88,9	73,7	2824	2214	1688	1165	2,19	2,06	1,85	1,54
49	9,18	32,2	31,4	29,4	25,5	12,2	13,5	14,9	16,7	109,1	102,9	92,6	77,2	2761	2196	1683	1167	2,23	2,10	1,89	1,58
50	9,39	32,6	31,8	29,7	25,8	12,4	13,6	15,0	16,8	113,2	106,8	96,4	80,8	2701	2176	1677	1169	2,26	2,14	1,93	1,62
51	9,60	32,9	32,1	30,1	26,1	12,6	13,8	15,1	16,9	117,4	110,8	100,2	84,3	2643	2156	1669	1169	2,30	2,17	1,96	1,65
52	9,81	33,3	32,5	30,4	26,4	12,8	13,9	15,3	17,0	121,5	114,8	104,0	87,8	2587	2136	1661	1169	2,34	2,21	2,00	1,69
53	10,03	33,6	32,8	30,7	26,7	13,0	14,1	15,4	17,1	125,7	118,8	107,7	91,3	2533	2114	1652	1168	2,37	2,24	2,03	1,72
54	10,24	34,0	33,1	31,0	27,0	13,2	14,2	15,5	17,2	129,9	122,8	111,5	94,9	2481	2093	1643	1166	2,41	2,27	2,07	1,76
55	10,45	34,3	33,5	31,3	27,3	13,4	14,3	15,6	17,3	134,1	126,9	115,3	98,4	2432	2071	1632	1163	2,44	2,31	2,10	1,79
56	10,65	34,6	33,8	31,6	27,6	13,6	14,5	15,8	17,4	138,3	130,9	119,1	101,9	2384	2049	1622	1160	2,47	2,34	2,13	1,82
57	10,86	34,9	34,1	31,9	27,8	13,8	14,6	15,9	17,5	142,5	134,9	122,9	105,4	2338	2027	1611	1157	2,50	2,37	2,16	1,85
58	11,07	35,2	34,4	32,2	28,1	14,0	14,8	16,0	17,6	146,8	139,0	126,7	108,9	2294	2004	1600	1153	2,53	2,40	2,18	1,88
59	11,27	35,5	34,6	32,4	28,3	14,2	14,9	16,1	17,7	151,0	143,0	130,5	112,4	2251	1982	1588	1148	2,56	2,42	2,21	1,91
60	11,48	35,8	34,9	32,7	28,6	14,4	15,1	16,3	17,8	155,3	147,1	134,3	116,0	2210	1959	1576	1144	2,59	2,45	2,24	1,93

Annexe L. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 5 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	1,05	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	9,1	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	1275	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,25	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	9,1	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	1582	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
10	1,45	0,4	0,0	0,0	0,0	1,6	9,1	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	1888	2	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
11	1,65	0,7	0,0	0,0	0,0	2,0	9,2	.	.	0,3	0,1	0,0	0,0	2184	7	0	0	0,03	0,01	0,00	0,00
12	1,87	1,1	0,1	0,0	0,0	2,4	9,3	.	.	0,6	0,2	0,0	0,0	2461	20	0	0	0,05	0,02	0,00	0,00
13	2,09	1,7	0,3	0,0	0,0	2,8	9,3	.	.	1,1	0,4	0,1	0,0	2716	46	2	0	0,08	0,03	0,01	0,00
14	2,31	2,5	0,6	0,1	0,0	3,3	9,4	.	.	1,7	0,7	0,2	0,0	2943	93	6	0	0,12	0,05	0,02	0,00
15	2,54	3,3	1,2	0,2	0,0	3,7	9,5	.	.	2,6	1,2	0,4	0,1	3141	163	15	0	0,17	0,08	0,03	0,01
16	2,78	4,4	1,9	0,4	0,0	4,1	9,6	.	.	3,8	1,9	0,8	0,2	3310	260	35	2	0,24	0,12	0,05	0,01
17	3,01	5,5	2,8	0,8	0,1	4,5	9,7	12,0	.	5,3	2,9	1,3	0,4	3448	380	68	5	0,31	0,17	0,08	0,02
18	3,25	6,7	4,0	1,4	0,2	4,9	9,8	12,1	.	7,0	4,2	2,1	0,7	3558	520	118	11	0,39	0,23	0,11	0,04
19	3,50	8,1	5,3	2,2	0,4	5,3	10,0	12,2	.	9,2	5,8	3,0	1,1	3641	674	186	24	0,48	0,31	0,16	0,06
20	3,74	9,4	6,7	3,2	0,8	5,7	10,1	12,3	.	11,6	7,8	4,3	1,7	3700	835	270	45	0,58	0,39	0,22	0,08
21	3,99	10,8	8,2	4,5	1,3	6,1	10,2	12,4	.	14,3	10,1	5,9	2,5	3736	997	368	77	0,68	0,48	0,28	0,12
22	4,24	12,2	9,8	5,9	2,1	6,4	10,4	12,5	.	17,3	12,7	7,8	3,5	3753	1155	477	119	0,79	0,58	0,36	0,16
23	4,49	13,6	11,4	7,4	3,0	6,8	10,5	12,6	.	20,6	15,6	10,1	4,8	3752	1304	591	171	0,90	0,68	0,44	0,21
24	4,75	15,0	12,9	9,0	4,1	7,1	10,7	12,7	15,0	24,2	18,9	12,7	6,4	3736	1442	706	233	1,01	0,79	0,53	0,27
25	5,00	16,3	14,4	10,6	5,4	7,5	10,8	12,9	15,1	28,0	22,4	15,5	8,3	3708	1567	820	302	1,12	0,90	0,62	0,33
26	5,26	17,6	15,9	12,3	6,8	7,8	11,0	13,0	15,2	32,0	26,2	18,7	10,4	3669	1679	928	375	1,23	1,01	0,72	0,40
27	5,51	18,9	17,3	13,8	8,2	8,1	11,1	13,1	15,3	36,1	30,2	22,1	12,9	3622	1777	1029	451	1,34	1,12	0,82	0,48
28	5,77	20,1	18,7	15,3	9,7	8,5	11,3	13,2	15,3	40,4	34,3	25,8	15,6	3568	1861	1122	526	1,44	1,23	0,92	0,56
29	6,03	21,2	19,9	16,8	11,2	8,8	11,5	13,3	15,4	44,9	38,7	29,7	18,5	3508	1932	1206	599	1,55	1,33	1,02	0,64
30	6,29	22,3	21,1	18,1	12,6	9,1	11,6	13,4	15,5	49,5	43,2	33,8	21,7	3444	1991	1280	668	1,65	1,44	1,13	0,72
31	6,54	23,3	22,2	19,4	14,0	9,4	11,8	13,5	15,6	54,2	47,8	38,0	25,2	3377	2040	1345	732	1,75	1,54	1,23	0,81
32	6,80	24,3	23,3	20,6	15,3	9,7	11,9	13,7	15,7	58,9	52,5	42,4	28,8	3308	2078	1402	791	1,84	1,64	1,32	0,90
33	7,06	25,2	24,3	21,7	16,5	10,0	12,1	13,8	15,8	63,8	57,3	46,9	32,6	3238	2108	1449	845	1,93	1,74	1,42	0,99
34	7,32	26,1	25,2	22,7	17,7	10,2	12,3	13,9	15,9	68,7	62,1	51,5	36,5	3167	2130	1490	892	2,02	1,83	1,51	1,07
35	7,58	26,9	26,0	23,6	18,8	10,5	12,4	14,1	16,0	73,6	67,0	56,1	40,6	3096	2145	1523	934	2,10	1,92	1,60	1,16
36	7,84	27,7	26,8	24,5	19,8	10,8	12,6	14,2	16,1	78,7	72,0	60,9	44,8	3026	2154	1550	971	2,18	2,00	1,69	1,24

Annexe L (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 5 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	8,09	28,4	27,6	25,3	20,7	11,1	12,8	14,3	16,2	83,7	76,9	65,6	49,0	2957	2157	1571	1002	2,26	2,08	1,77	1,33
38	8,35	29,1	28,3	26,0	21,5	11,3	12,9	14,5	16,3	88,8	81,9	70,4	53,4	2889	2156	1587	1029	2,34	2,16	1,85	1,41
39	8,61	29,8	29,0	26,7	22,3	11,6	13,1	14,6	16,4	93,9	87,0	75,3	57,8	2822	2150	1599	1052	2,41	2,23	1,93	1,48
40	8,86	30,4	29,6	27,4	23,0	11,8	13,3	14,7	16,5	99,0	92,0	80,1	62,3	2757	2142	1607	1071	2,47	2,30	2,00	1,56
41	9,12	31,0	30,2	28,0	23,7	12,1	13,4	14,9	16,7	104,1	97,0	85,0	66,8	2694	2130	1612	1086	2,54	2,37	2,07	1,63
42	9,37	31,5	30,7	28,6	24,3	12,4	13,6	15,0	16,8	109,3	102,1	89,8	71,3	2633	2116	1614	1098	2,60	2,43	2,14	1,70
43	9,62	32,1	31,3	29,1	24,8	12,6	13,8	15,2	16,9	114,5	107,1	94,7	75,8	2573	2100	1613	1108	2,66	2,49	2,20	1,76
44	9,87	32,6	31,8	29,6	25,4	12,8	13,9	15,3	17,0	119,6	112,2	99,5	80,4	2516	2082	1610	1115	2,72	2,55	2,26	1,83
45	10,12	33,1	32,2	30,1	25,9	13,1	14,1	15,4	17,1	124,8	117,2	104,4	85,0	2460	2062	1606	1120	2,77	2,60	2,32	1,89
46	10,37	33,5	32,7	30,5	26,3	13,3	14,3	15,6	17,3	130,0	122,3	109,2	89,5	2406	2042	1599	1124	2,83	2,66	2,37	1,95
47	10,62	34,0	33,1	30,9	26,7	13,6	14,4	15,7	17,4	135,3	127,3	114,1	94,1	2354	2020	1592	1126	2,88	2,71	2,43	2,00
48	10,87	34,4	33,5	31,4	27,1	13,8	14,6	15,9	17,5	140,5	132,3	118,9	98,6	2304	1998	1583	1126	2,93	2,76	2,48	2,05
49	11,11	34,8	33,9	31,7	27,5	14,0	14,8	16,0	17,6	145,7	137,4	123,7	103,1	2256	1975	1573	1126	2,97	2,80	2,52	2,10
50	11,36	35,2	34,3	32,1	27,9	14,2	15,0	16,2	17,8	150,9	142,4	128,5	107,6	2210	1951	1562	1124	3,02	2,85	2,57	2,15
51	11,60	35,5	34,7	32,5	28,2	14,5	15,1	16,3	17,9	156,2	147,4	133,3	112,1	2165	1927	1551	1121	3,06	2,89	2,61	2,20
52	11,84	35,9	35,1	32,8	28,5	14,7	15,3	16,5	18,0	161,4	152,5	138,1	116,6	2122	1903	1538	1118	3,10	2,93	2,65	2,24
53	12,08	36,3	35,4	33,1	28,8	14,9	15,5	16,6	18,2	166,6	157,5	142,8	121,1	2081	1879	1526	1114	3,14	2,97	2,69	2,28
54	12,32	36,6	35,7	33,4	29,1	15,1	15,7	16,8	18,3	171,9	162,5	147,6	125,5	2041	1855	1513	1109	3,18	3,01	2,73	2,32
55	12,56	36,9	36,0	33,8	29,4	15,3	15,8	16,9	18,4	177,1	167,5	152,3	130,0	2003	1831	1500	1104	3,22	3,05	2,77	2,36
56	12,79	37,2	36,4	34,0	29,7	15,5	16,0	17,1	18,6	182,3	172,5	157,0	134,4	1966	1807	1486	1098	3,26	3,08	2,80	2,40
57	13,02	37,6	36,7	34,3	30,0	15,7	16,2	17,2	18,7	187,6	177,6	161,7	138,7	1930	1783	1473	1092	3,29	3,11	2,84	2,43
58	13,26	37,9	37,0	34,6	30,2	15,9	16,4	17,4	18,8	192,8	182,6	166,4	143,1	1896	1759	1459	1086	3,32	3,15	2,87	2,47
59	13,49	38,2	37,2	34,9	30,5	16,1	16,5	17,5	18,9	198,0	187,5	171,1	147,4	1863	1735	1445	1080	3,36	3,18	2,90	2,50
60	13,72	38,4	37,5	35,1	30,7	16,3	16,7	17,7	19,1	203,3	192,5	175,8	151,8	1831	1712	1431	1073	3,39	3,21	2,93	2,53

Annexe M. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 6 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	1,29	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	9,1	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	1028	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,53	0,2	0,0	0,0	0,0	1,5	9,1	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	1275	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
10	1,77	0,4	0,0	0,0	0,0	1,9	9,2	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	1524	2	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
11	2,02	0,8	0,1	0,0	0,0	2,3	9,2	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	1765	7	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
12	2,28	1,2	0,1	0,0	0,0	2,8	9,3	.	.	0,8	0,3	0,1	0,0	1992	21	0	0	0,07	0,02	0,01	0,00
13	2,55	1,9	0,3	0,0	0,0	3,3	9,4	.	.	1,4	0,5	0,1	0,0	2201	49	2	0	0,11	0,04	0,01	0,00
14	2,82	2,7	0,7	0,1	0,0	3,8	9,5	.	.	2,3	0,9	0,3	0,1	2389	98	6	0	0,17	0,07	0,02	0,00
15	3,09	3,6	1,3	0,2	0,0	4,2	9,6	.	.	3,5	1,6	0,6	0,1	2554	172	16	0	0,23	0,11	0,04	0,01
16	3,37	4,7	2,0	0,4	0,0	4,7	9,8	12,1	.	5,1	2,6	1,1	0,3	2695	272	37	2	0,32	0,16	0,07	0,02
17	3,65	6,0	3,0	0,8	0,1	5,2	9,9	12,2	.	7,0	3,9	1,8	0,5	2812	395	72	5	0,41	0,23	0,10	0,03
18	3,94	7,3	4,3	1,5	0,2	5,7	10,1	12,3	.	9,4	5,6	2,7	0,9	2906	538	123	12	0,52	0,31	0,15	0,05
19	4,23	8,7	5,7	2,4	0,4	6,1	10,2	12,5	.	12,2	7,8	4,1	1,5	2978	692	193	25	0,64	0,41	0,21	0,08
20	4,52	10,2	7,2	3,5	0,8	6,5	10,4	12,6	.	15,4	10,3	5,8	2,3	3031	851	280	47	0,77	0,52	0,29	0,11
21	4,81	11,7	8,9	4,8	1,4	7,0	10,6	12,7	15,0	19,0	13,4	7,9	3,3	3065	1010	379	80	0,91	0,64	0,37	0,16
22	5,11	13,2	10,5	6,3	2,2	7,4	10,7	12,9	15,1	23,0	16,8	10,4	4,7	3083	1162	489	123	1,04	0,76	0,47	0,21
23	5,40	14,7	12,2	8,0	3,2	7,8	10,9	13,0	15,3	27,3	20,7	13,3	6,4	3087	1303	602	177	1,19	0,90	0,58	0,28
24	5,70	16,2	13,9	9,7	4,5	8,2	11,1	13,1	15,4	31,9	24,9	16,7	8,5	3078	1433	717	240	1,33	1,04	0,70	0,35
25	6,00	17,6	15,6	11,5	5,8	8,6	11,3	13,3	15,5	36,9	29,5	20,5	10,9	3059	1548	828	310	1,47	1,18	0,82	0,44
26	6,30	19,0	17,1	13,2	7,3	8,9	11,5	13,4	15,6	42,0	34,4	24,6	13,7	3032	1648	933	384	1,62	1,32	0,95	0,53
27	6,60	20,3	18,6	14,9	8,9	9,3	11,7	13,6	15,7	47,4	39,6	29,0	16,9	2997	1734	1030	459	1,76	1,47	1,08	0,63
28	6,90	21,6	20,1	16,5	10,4	9,6	11,9	13,7	15,8	53,0	45,0	33,8	20,4	2956	1806	1118	534	1,89	1,61	1,21	0,73
29	7,20	22,8	21,4	18,0	12,0	10,0	12,1	13,8	15,9	58,7	50,6	38,8	24,2	2910	1865	1196	605	2,02	1,74	1,34	0,84
30	7,49	24,0	22,7	19,5	13,6	10,3	12,3	14,0	16,0	64,5	56,3	44,0	28,4	2861	1912	1264	673	2,15	1,88	1,47	0,95
31	7,79	25,1	23,9	20,8	15,0	10,7	12,5	14,2	16,1	70,5	62,2	49,5	32,8	2809	1949	1323	735	2,27	2,01	1,60	1,06
32	8,09	26,1	25,0	22,1	16,4	11,0	12,7	14,3	16,3	76,6	68,2	55,1	37,4	2756	1977	1372	792	2,39	2,13	1,72	1,17
33	8,39	27,1	26,0	23,2	17,7	11,3	12,9	14,5	16,4	82,7	74,3	60,8	42,2	2701	1995	1413	842	2,51	2,25	1,84	1,28
34	8,68	28,0	27,0	24,3	19,0	11,6	13,1	14,6	16,5	88,9	80,4	66,6	47,2	2646	2007	1447	887	2,61	2,36	1,96	1,39
35	8,98	28,8	27,9	25,3	20,1	11,9	13,3	14,8	16,6	95,1	86,6	72,5	52,4	2590	2012	1473	925	2,72	2,47	2,07	1,50
36	9,27	29,6	28,7	26,2	21,1	12,2	13,5	15,0	16,8	101,4	92,8	78,4	57,7	2535	2012	1493	958	2,82	2,58	2,18	1,60

Annexe M (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 6 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	9,56	30,4	29,5	27,1	22,1	12,5	13,7	15,1	16,9	107,7	99,0	84,4	63,1	2480	2007	1508	986	2,91	2,68	2,28	1,71
38	9,85	31,1	30,3	27,9	23,0	12,8	13,9	15,3	17,0	114,0	105,2	90,4	68,6	2426	1999	1519	1010	3,00	2,77	2,38	1,80
39	10,14	31,8	30,9	28,6	23,8	13,1	14,1	15,4	17,2	120,3	111,5	96,5	74,1	2374	1987	1525	1029	3,08	2,86	2,47	1,90
40	10,43	32,5	31,6	29,3	24,6	13,3	14,3	15,6	17,3	126,6	117,7	102,5	79,7	2322	1972	1528	1044	3,17	2,94	2,56	1,99
41	10,72	33,1	32,2	29,9	25,3	13,6	14,5	15,8	17,5	133,0	123,9	108,5	85,3	2272	1954	1527	1056	3,24	3,02	2,65	2,08
42	11,00	33,7	32,8	30,5	25,9	13,9	14,7	16,0	17,6	139,3	130,1	114,5	90,9	2223	1935	1524	1065	3,32	3,10	2,73	2,16
43	11,28	34,2	33,3	31,0	26,5	14,1	14,9	16,1	17,7	145,6	136,3	120,4	96,5	2175	1914	1519	1071	3,39	3,17	2,80	2,24
44	11,56	34,7	33,9	31,6	27,0	14,4	15,1	16,3	17,9	151,9	142,4	126,4	102,1	2129	1892	1512	1075	3,45	3,24	2,87	2,32
45	11,84	35,2	34,4	32,0	27,5	14,7	15,3	16,5	18,0	158,2	148,6	132,3	107,7	2085	1869	1503	1078	3,52	3,30	2,94	2,39
46	12,12	35,7	34,8	32,5	28,0	14,9	15,5	16,6	18,2	164,5	154,7	138,2	113,2	2042	1846	1493	1078	3,58	3,36	3,00	2,46
47	12,39	36,1	35,3	32,9	28,5	15,2	15,7	16,8	18,3	170,8	160,8	144,1	118,8	2000	1821	1482	1077	3,63	3,42	3,06	2,53
48	12,67	36,6	35,7	33,4	28,9	15,4	15,9	17,0	18,5	177,1	166,8	149,9	124,3	1960	1797	1470	1075	3,69	3,48	3,12	2,59
49	12,94	37,0	36,1	33,8	29,3	15,7	16,1	17,2	18,6	183,3	172,9	155,7	129,8	1922	1772	1457	1072	3,74	3,53	3,18	2,65
50	13,21	37,4	36,5	34,1	29,6	15,9	16,3	17,3	18,8	189,6	178,9	161,4	135,2	1884	1747	1444	1068	3,79	3,58	3,23	2,70
51	13,47	37,8	36,9	34,5	30,0	16,1	16,5	17,5	18,9	195,8	184,9	167,1	140,6	1849	1722	1430	1063	3,84	3,63	3,28	2,76
52	13,74	38,1	37,2	34,8	30,3	16,4	16,7	17,7	19,1	202,0	190,9	172,8	146,0	1814	1697	1416	1058	3,88	3,67	3,32	2,81
53	14,00	38,5	37,6	35,2	30,6	16,6	16,9	17,9	19,3	208,2	196,8	178,5	151,3	1781	1672	1402	1052	3,93	3,71	3,37	2,85
54	14,26	38,8	37,9	35,5	30,9	16,8	17,1	18,0	19,4	214,4	202,7	184,1	156,6	1749	1648	1387	1045	3,97	3,75	3,41	2,90
55	14,52	39,2	38,2	35,8	31,2	17,0	17,3	18,2	19,6	220,5	208,6	189,6	161,8	1718	1623	1372	1039	4,01	3,79	3,45	2,94
56	14,77	39,5	38,5	36,1	31,5	17,3	17,5	18,4	19,7	226,6	214,5	195,2	167,0	1689	1599	1358	1032	4,05	3,83	3,49	2,98
57	15,02	39,8	38,8	36,4	31,7	17,5	17,7	18,6	19,9	232,8	220,3	200,7	172,2	1660	1576	1343	1024	4,08	3,87	3,52	3,02
58	15,27	40,1	39,1	36,7	32,0	17,7	17,9	18,7	20,0	238,8	226,1	206,2	177,3	1633	1553	1328	1017	4,12	3,90	3,55	3,06
59	15,52	40,4	39,4	36,9	32,2	17,9	18,1	18,9	20,2	244,9	231,9	211,6	182,3	1606	1530	1313	1009	4,15	3,93	3,59	3,09
60	15,77	40,7	39,7	37,2	32,5	18,1	18,3	19,1	20,3	251,0	237,7	217,0	187,4	1581	1507	1299	1001	4,18	3,96	3,62	3,12

Annexe N. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 7 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	1,55	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	9,1	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	851	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	1,82	0,2	0,0	0,0	0,0	1,7	9,2	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	1059	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
10	2,11	0,5	0,0	0,0	0,0	2,2	9,2	.	.	0,3	0,1	0,0	0,0	1267	2	0	0	0,03	0,01	0,00	0,00
11	2,41	0,8	0,1	0,0	0,0	2,7	9,3	.	.	0,6	0,1	0,0	0,0	1470	8	0	0	0,05	0,01	0,00	0,00
12	2,71	1,3	0,2	0,0	0,0	3,2	9,4	.	.	1,1	0,3	0,1	0,0	1662	22	0	0	0,09	0,03	0,01	0,00
13	3,02	2,0	0,4	0,0	0,0	3,7	9,5	.	.	1,9	0,7	0,2	0,0	1839	52	2	0	0,14	0,05	0,01	0,00
14	3,34	2,9	0,7	0,1	0,0	4,3	9,6	.	.	3,0	1,2	0,4	0,1	1999	103	6	0	0,21	0,09	0,03	0,01
15	3,66	3,9	1,3	0,2	0,0	4,8	9,8	12,1	.	4,5	2,1	0,8	0,2	2140	179	17	0	0,30	0,14	0,05	0,01
16	3,98	5,1	2,2	0,5	0,0	5,3	9,9	12,2	.	6,5	3,3	1,4	0,4	2261	281	38	2	0,41	0,21	0,09	0,02
17	4,31	6,4	3,3	0,9	0,1	5,9	10,1	12,4	.	9,0	5,0	2,3	0,7	2363	405	74	5	0,53	0,29	0,13	0,04
18	4,64	7,8	4,6	1,6	0,2	6,4	10,3	12,5	.	12,1	7,2	3,5	1,2	2445	547	127	12	0,67	0,40	0,20	0,06
19	4,97	9,3	6,1	2,5	0,5	6,9	10,5	12,7	15,0	15,6	9,9	5,2	1,9	2510	700	198	26	0,82	0,52	0,27	0,10
20	5,31	10,9	7,7	3,7	0,9	7,4	10,7	12,9	15,2	19,7	13,2	7,4	2,9	2558	855	285	49	0,98	0,66	0,37	0,14
21	5,65	12,5	9,4	5,1	1,5	7,8	10,9	13,0	15,3	24,2	17,0	10,0	4,2	2590	1008	385	82	1,15	0,81	0,48	0,20
22	5,98	14,1	11,2	6,8	2,4	8,3	11,1	13,2	15,5	29,2	21,3	13,2	6,0	2609	1152	494	126	1,33	0,97	0,60	0,27
23	6,32	15,7	13,0	8,5	3,5	8,7	11,4	13,4	15,6	34,6	26,2	16,9	8,1	2616	1285	606	181	1,50	1,14	0,73	0,35
24	6,66	17,2	14,8	10,3	4,7	9,2	11,6	13,5	15,7	40,4	31,5	21,1	10,7	2613	1404	718	244	1,68	1,31	0,88	0,45
25	7,00	18,7	16,6	12,2	6,2	9,6	11,8	13,7	15,9	46,5	37,3	25,8	13,8	2600	1508	825	314	1,86	1,49	1,03	0,55
26	7,34	20,2	18,2	14,0	7,8	10,0	12,1	13,9	16,0	52,9	43,3	31,0	17,3	2580	1597	925	387	2,04	1,67	1,19	0,66
27	7,68	21,6	19,8	15,8	9,4	10,4	12,3	14,1	16,1	59,6	49,8	36,5	21,2	2554	1671	1017	461	2,21	1,84	1,35	0,79
28	8,01	22,9	21,3	17,5	11,1	10,8	12,5	14,2	16,3	66,5	56,4	42,4	25,6	2522	1732	1099	534	2,37	2,02	1,51	0,91
29	8,35	24,2	22,7	19,1	12,8	11,1	12,8	14,4	16,4	73,5	63,3	48,6	30,3	2487	1780	1171	604	2,53	2,18	1,68	1,05
30	8,69	25,4	24,1	20,7	14,4	11,5	13,0	14,6	16,6	80,7	70,4	55,1	35,5	2448	1817	1233	669	2,69	2,35	1,84	1,18
31	9,02	26,6	25,3	22,1	15,9	11,9	13,2	14,8	16,7	88,0	77,6	61,7	40,9	2407	1844	1285	729	2,84	2,50	1,99	1,32
32	9,35	27,7	26,5	23,4	17,4	12,2	13,5	15,0	16,8	95,3	84,9	68,6	46,6	2364	1861	1327	782	2,98	2,65	2,14	1,46
33	9,68	28,7	27,6	24,6	18,8	12,5	13,7	15,2	17,0	102,8	92,3	75,5	52,5	2321	1872	1362	829	3,11	2,80	2,29	1,59
34	10,01	29,6	28,6	25,8	20,1	12,9	13,9	15,4	17,1	110,3	99,7	82,6	58,6	2276	1876	1389	870	3,24	2,93	2,43	1,72
35	10,34	30,5	29,5	26,8	21,3	13,2	14,2	15,6	17,3	117,8	107,2	89,8	64,9	2231	1874	1410	905	3,37	3,06	2,56	1,85
36	10,66	31,4	30,4	27,7	22,4	13,5	14,4	15,7	17,5	125,3	114,7	97,0	71,3	2186	1867	1425	935	3,48	3,19	2,69	1,98

Annexe N (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 7 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	10,99	32,2	31,2	28,6	23,4	13,8	14,6	15,9	17,6	132,8	122,1	104,2	77,9	2142	1857	1435	960	3,59	3,30	2,82	2,10
38	11,31	32,9	32,0	29,5	24,3	14,1	14,9	16,1	17,8	140,4	129,6	111,4	84,4	2098	1843	1440	979	3,69	3,41	2,93	2,22
39	11,63	33,6	32,7	30,2	25,2	14,4	15,1	16,3	17,9	147,9	137,0	118,6	91,1	2055	1826	1442	995	3,79	3,51	3,04	2,34
40	11,94	34,3	33,4	30,9	26,0	14,7	15,3	16,5	18,1	155,4	144,4	125,7	97,8	2013	1807	1440	1007	3,88	3,61	3,14	2,44
41	12,25	34,9	34,0	31,6	26,7	15,0	15,6	16,7	18,3	162,8	151,7	132,9	104,4	1972	1787	1436	1016	3,97	3,70	3,24	2,55
42	12,56	35,5	34,6	32,2	27,3	15,3	15,8	16,9	18,4	170,3	159,0	140,0	111,1	1932	1765	1430	1023	4,05	3,79	3,33	2,65
43	12,87	36,1	35,2	32,7	27,9	15,6	16,0	17,1	18,6	177,7	166,3	147,0	117,8	1893	1742	1421	1027	4,13	3,87	3,42	2,74
44	13,18	36,6	35,7	33,3	28,5	15,9	16,3	17,3	18,8	185,1	173,5	154,0	124,4	1855	1718	1411	1028	4,21	3,94	3,50	2,83
45	13,48	37,1	36,2	33,8	29,0	16,1	16,5	17,5	19,0	192,4	180,7	160,9	131,0	1819	1694	1400	1028	4,28	4,01	3,58	2,91
46	13,78	37,6	36,7	34,2	29,5	16,4	16,7	17,7	19,1	199,7	187,8	167,8	137,5	1783	1669	1388	1027	4,34	4,08	3,65	2,99
47	14,08	38,1	37,1	34,7	30,0	16,6	17,0	17,9	19,3	207,0	194,8	174,6	144,0	1749	1644	1375	1024	4,40	4,15	3,71	3,06
48	14,37	38,5	37,6	35,1	30,4	16,9	17,2	18,1	19,5	214,2	201,8	181,3	150,4	1716	1619	1361	1020	4,46	4,21	3,78	3,13
49	14,66	38,9	38,0	35,5	30,8	17,2	17,4	18,3	19,6	221,4	208,8	188,0	156,7	1684	1594	1347	1015	4,52	4,26	3,84	3,20
50	14,95	39,3	38,4	35,9	31,2	17,4	17,6	18,5	19,8	228,6	215,7	194,6	163,0	1654	1569	1333	1010	4,57	4,31	3,89	3,26
51	15,23	39,7	38,7	36,3	31,5	17,6	17,9	18,7	20,0	235,7	222,6	201,2	169,3	1624	1544	1318	1003	4,62	4,36	3,94	3,32
52	15,51	40,1	39,1	36,6	31,8	17,9	18,1	18,9	20,2	242,7	229,4	207,7	175,4	1596	1520	1303	997	4,67	4,41	3,99	3,37
53	15,79	40,4	39,5	36,9	32,2	18,1	18,3	19,1	20,3	249,8	236,1	214,1	181,5	1568	1496	1288	990	4,71	4,45	4,04	3,42
54	16,07	40,8	39,8	37,2	32,4	18,3	18,6	19,3	20,5	256,8	242,8	220,5	187,5	1542	1472	1272	982	4,75	4,50	4,08	3,47
55	16,34	41,1	40,1	37,6	32,7	18,6	18,8	19,5	20,7	263,7	249,5	226,8	193,5	1517	1449	1257	975	4,79	4,54	4,12	3,52
56	16,61	41,4	40,4	37,8	33,0	18,8	19,0	19,7	20,9	270,6	256,1	233,0	199,4	1492	1426	1242	967	4,83	4,57	4,16	3,56
57	16,87	41,7	40,7	38,1	33,3	19,0	19,2	19,9	21,0	277,4	262,6	239,2	205,2	1469	1404	1227	959	4,87	4,61	4,20	3,60
58	17,14	42,0	41,0	38,4	33,5	19,2	19,4	20,1	21,2	284,2	269,1	245,4	211,0	1446	1382	1213	950	4,90	4,64	4,23	3,64
59	17,40	42,3	41,3	38,7	33,8	19,4	19,7	20,3	21,4	291,0	275,6	251,4	216,6	1424	1361	1198	942	4,93	4,67	4,26	3,67
60	17,65	42,6	41,6	38,9	34,0	19,7	19,9	20,5	21,5	297,7	282,0	257,5	222,3	1403	1340	1184	934	4,96	4,70	4,29	3,70

Annexe O. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 8 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	1,81	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	9,1	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	721	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	2,13	0,2	0,0	0,0	0,0	1,9	9,2	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	899	0	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
10	2,46	0,5	0,0	0,0	0,0	2,4	9,3	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	1077	2	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
11	2,80	0,9	0,1	0,0	0,0	3,0	9,3	.	.	0,7	0,2	0,0	0,0	1251	8	0	0	0,07	0,02	0,00	0,00
12	3,15	1,4	0,2	0,0	0,0	3,6	9,5	.	.	1,4	0,4	0,1	0,0	1417	23	0	0	0,11	0,03	0,01	0,00
13	3,51	2,1	0,4	0,0	0,0	4,2	9,6	.	.	2,3	0,8	0,2	0,0	1570	54	2	0	0,18	0,06	0,02	0,00
14	3,87	3,0	0,8	0,1	0,0	4,7	9,8	12,1	.	3,7	1,5	0,5	0,1	1710	106	7	0	0,27	0,11	0,04	0,01
15	4,24	4,1	1,4	0,2	0,0	5,3	9,9	12,2	.	5,7	2,6	1,0	0,2	1833	184	18	0	0,38	0,17	0,06	0,01
16	4,60	5,4	2,3	0,5	0,0	5,9	10,1	12,4	.	8,1	4,1	1,7	0,4	1939	287	40	2	0,51	0,26	0,11	0,03
17	4,98	6,8	3,5	0,9	0,1	6,5	10,3	12,6	.	11,2	6,2	2,8	0,8	2030	411	76	5	0,66	0,37	0,17	0,05
18	5,35	8,3	4,8	1,7	0,2	7,1	10,6	12,8	15,1	15,0	8,9	4,4	1,4	2103	552	130	13	0,83	0,50	0,24	0,08
19	5,73	9,8	6,4	2,7	0,5	7,6	10,8	13,0	15,3	19,3	12,3	6,4	2,3	2162	700	201	27	1,02	0,65	0,34	0,12
20	6,11	11,5	8,2	3,9	0,9	8,1	11,0	13,2	15,4	24,3	16,3	9,1	3,6	2206	850	288	50	1,21	0,81	0,45	0,18
21	6,49	13,2	10,0	5,4	1,6	8,7	11,3	13,4	15,6	29,8	21,0	12,3	5,2	2237	996	387	84	1,42	1,00	0,59	0,25
22	6,87	14,9	11,9	7,1	2,5	9,2	11,6	13,6	15,8	35,9	26,3	16,2	7,3	2257	1131	494	128	1,63	1,19	0,74	0,33
23	7,24	16,5	13,8	9,0	3,6	9,6	11,8	13,8	16,0	42,5	32,2	20,8	10,0	2266	1254	603	183	1,85	1,40	0,90	0,43
24	7,62	18,2	15,7	10,9	5,0	10,1	12,1	14,0	16,1	49,5	38,6	25,9	13,1	2266	1362	711	246	2,06	1,61	1,08	0,55
25	8,00	19,8	17,5	12,9	6,5	10,6	12,4	14,2	16,3	56,9	45,6	31,6	16,9	2258	1455	814	314	2,28	1,82	1,26	0,67
26	8,38	21,3	19,2	14,8	8,2	11,0	12,6	14,4	16,4	64,6	52,9	37,8	21,1	2244	1533	909	386	2,49	2,04	1,45	0,81
27	8,75	22,8	20,9	16,7	9,9	11,4	12,9	14,6	16,6	72,6	60,7	44,5	25,9	2224	1597	995	459	2,69	2,25	1,65	0,96
28	9,12	24,2	22,5	18,5	11,7	11,8	13,2	14,8	16,8	80,9	68,7	51,6	31,1	2200	1648	1070	529	2,89	2,45	1,84	1,11
29	9,50	25,5	24,0	20,2	13,5	12,2	13,5	15,0	16,9	89,2	76,9	59,0	36,9	2172	1686	1136	597	3,08	2,65	2,03	1,27
30	9,86	26,8	25,3	21,8	15,2	12,6	13,7	15,2	17,1	97,8	85,3	66,7	43,0	2141	1714	1191	659	3,26	2,84	2,22	1,43
31	10,23	28,0	26,6	23,2	16,8	13,0	14,0	15,5	17,3	106,4	93,9	74,7	49,4	2108	1732	1237	715	3,43	3,03	2,41	1,59
32	10,60	29,1	27,9	24,6	18,3	13,4	14,3	15,7	17,5	115,1	102,5	82,8	56,2	2073	1743	1274	765	3,60	3,20	2,59	1,76
33	10,96	30,1	29,0	25,9	19,8	13,7	14,5	15,9	17,6	123,9	111,2	91,1	63,3	2037	1747	1303	809	3,75	3,37	2,76	1,92
34	11,31	31,1	30,0	27,1	21,1	14,1	14,8	16,1	17,8	132,6	120,0	99,4	70,5	2000	1745	1325	847	3,90	3,53	2,92	2,07
35	11,67	32,1	31,0	28,1	22,4	14,4	15,1	16,3	18,0	141,4	128,7	107,8	77,9	1964	1738	1341	879	4,04	3,68	3,08	2,23
36	12,02	32,9	31,9	29,1	23,5	14,8	15,3	16,6	18,2	150,2	137,4	116,2	85,5	1927	1727	1351	905	4,17	3,82	3,23	2,38

Annexe O (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 8 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	12,37	33,8	32,8	30,0	24,5	15,1	15,6	16,8	18,4	158,9	146,1	124,6	93,1	1890	1713	1357	927	4,30	3,95	3,37	2,52
38	12,72	34,5	33,6	30,9	25,5	15,4	15,9	17,0	18,6	167,6	154,8	133,0	100,9	1853	1696	1359	944	4,41	4,07	3,50	2,65
39	13,06	35,3	34,3	31,7	26,4	15,7	16,1	17,2	18,7	176,3	163,3	141,4	108,6	1818	1676	1357	957	4,52	4,19	3,62	2,78
40	13,40	35,9	35,0	32,4	27,2	16,0	16,4	17,5	18,9	184,9	171,8	149,6	116,3	1783	1656	1352	966	4,62	4,30	3,74	2,91
41	13,73	36,6	35,6	33,1	27,9	16,3	16,7	17,7	19,1	193,5	180,3	157,9	124,1	1748	1634	1346	973	4,72	4,40	3,85	3,03
42	14,07	37,2	36,2	33,7	28,6	16,6	16,9	17,9	19,3	202,0	188,6	166,0	131,8	1715	1611	1337	977	4,81	4,49	3,95	3,14
43	14,39	37,8	36,8	34,3	29,2	16,9	17,2	18,1	19,5	210,4	196,9	174,0	139,4	1682	1587	1327	979	4,89	4,58	4,05	3,24
44	14,72	38,3	37,3	34,8	29,8	17,2	17,4	18,4	19,7	218,8	205,1	182,0	147,0	1651	1562	1315	979	4,97	4,66	4,14	3,34
45	15,04	38,8	37,8	35,3	30,3	17,5	17,7	18,6	19,9	227,1	213,2	189,9	154,5	1620	1538	1303	977	5,05	4,74	4,22	3,43
46	15,36	39,3	38,3	35,8	30,8	17,7	18,0	18,8	20,1	235,3	221,2	197,6	162,0	1591	1513	1289	974	5,12	4,81	4,30	3,52
47	15,67	39,7	38,8	36,2	31,3	18,0	18,2	19,0	20,3	243,5	229,1	205,3	169,3	1562	1489	1275	970	5,18	4,88	4,37	3,60
48	15,98	40,2	39,2	36,7	31,7	18,3	18,5	19,2	20,5	251,5	237,0	212,9	176,6	1534	1464	1261	965	5,24	4,94	4,44	3,68
49	16,28	40,6	39,6	37,1	32,1	18,5	18,7	19,5	20,7	259,6	244,7	220,4	183,7	1508	1440	1246	959	5,30	4,99	4,50	3,75
50	16,59	41,0	40,0	37,4	32,5	18,8	19,0	19,7	20,8	267,5	252,4	227,8	190,8	1482	1416	1231	953	5,35	5,05	4,56	3,82
51	16,88	41,4	40,4	37,8	32,8	19,0	19,2	19,9	21,0	275,4	260,0	235,0	197,8	1457	1393	1216	946	5,40	5,10	4,61	3,88
52	17,18	41,8	40,8	38,1	33,2	19,3	19,5	20,1	21,2	283,2	267,5	242,2	204,6	1433	1370	1201	938	5,45	5,15	4,66	3,94
53	17,47	42,1	41,1	38,5	33,5	19,5	19,7	20,3	21,4	290,9	275,0	249,3	211,4	1410	1347	1186	930	5,49	5,19	4,70	3,99
54	17,75	42,4	41,4	38,8	33,8	19,7	20,0	20,5	21,6	298,6	282,3	256,4	218,1	1388	1325	1171	923	5,53	5,23	4,75	4,04
55	18,04	42,8	41,7	39,1	34,1	20,0	20,2	20,7	21,8	306,1	289,6	263,3	224,6	1367	1304	1156	914	5,57	5,27	4,79	4,08
56	18,31	43,1	42,1	39,4	34,3	20,2	20,4	21,0	22,0	313,7	296,8	270,1	231,1	1346	1282	1141	906	5,60	5,30	4,82	4,13
57	18,59	43,4	42,3	39,7	34,6	20,4	20,7	21,2	22,1	321,1	304,0	276,9	237,5	1326	1262	1127	898	5,63	5,33	4,86	4,17
58	18,86	43,7	42,6	39,9	34,8	20,6	20,9	21,4	22,3	328,5	311,0	283,5	243,8	1307	1242	1113	890	5,66	5,36	4,89	4,20
59	19,13	44,0	42,9	40,2	35,1	20,8	21,1	21,6	22,5	335,8	318,0	290,1	250,0	1289	1222	1099	881	5,69	5,39	4,92	4,24
60	19,39	44,2	43,2	40,4	35,3	21,0	21,4	21,8	22,7	343,0	324,9	296,6	256,1	1271	1203	1085	873	5,72	5,41	4,94	4,27

Annexe P. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 9 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	2,08	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	9,1	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	621	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	2,45	0,3	0,0	0,0	0,0	2,1	9,2	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	776	0	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
10	2,83	0,5	0,0	0,0	0,0	2,7	9,3	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	931	2	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
11	3,21	0,9	0,1	0,0	0,0	3,3	9,4	.	.	0,9	0,2	0,0	0,0	1083	9	0	0	0,08	0,02	0,00	0,00
12	3,61	1,5	0,2	0,0	0,0	3,9	9,5	.	.	1,7	0,5	0,1	0,0	1229	24	0	0	0,14	0,04	0,01	0,00
13	4,01	2,2	0,4	0,0	0,0	4,6	9,7	12,0	.	2,9	1,0	0,3	0,0	1364	56	2	0	0,22	0,08	0,02	0,00
14	4,42	3,2	0,8	0,1	0,0	5,2	9,9	12,2	.	4,6	1,9	0,6	0,1	1487	109	7	0	0,33	0,13	0,04	0,01
15	4,83	4,3	1,5	0,2	0,0	5,9	10,1	12,4	.	6,9	3,2	1,2	0,3	1596	187	18	0	0,46	0,21	0,08	0,02
16	5,24	5,6	2,4	0,5	0,0	6,5	10,3	12,6	.	9,9	5,0	2,1	0,5	1692	290	41	2	0,62	0,31	0,13	0,03
17	5,66	7,1	3,6	1,0	0,1	7,1	10,6	12,8	15,1	13,6	7,6	3,4	1,0	1773	413	78	5	0,80	0,44	0,20	0,06
18	6,08	8,7	5,1	1,8	0,2	7,8	10,8	13,0	15,3	18,1	10,8	5,3	1,7	1840	551	132	13	1,01	0,60	0,29	0,10
19	6,50	10,4	6,8	2,8	0,5	8,3	11,1	13,3	15,5	23,4	14,8	7,8	2,8	1894	695	203	27	1,23	0,78	0,41	0,15
20	6,92	12,1	8,6	4,1	1,0	8,9	11,4	13,5	15,7	29,3	19,6	11,0	4,3	1935	838	289	51	1,47	0,98	0,55	0,21
21	7,34	13,9	10,5	5,7	1,7	9,5	11,7	13,7	15,9	35,9	25,2	14,9	6,3	1965	975	386	84	1,71	1,20	0,71	0,30
22	7,75	15,6	12,5	7,5	2,6	10,0	12,0	14,0	16,1	43,2	31,6	19,5	8,8	1985	1102	490	129	1,96	1,44	0,89	0,40
23	8,17	17,4	14,5	9,4	3,8	10,5	12,3	14,2	16,3	51,0	38,6	24,9	12,0	1996	1215	596	183	2,22	1,68	1,08	0,52
24	8,59	19,1	16,4	11,5	5,3	11,0	12,6	14,4	16,5	59,3	46,3	31,0	15,7	1999	1312	699	245	2,47	1,93	1,29	0,66
25	9,00	20,7	18,3	13,5	6,9	11,5	12,9	14,7	16,7	68,0	54,5	37,7	20,1	1994	1395	796	312	2,72	2,18	1,51	0,81
26	9,41	22,3	20,2	15,5	8,6	12,0	13,2	14,9	16,9	77,1	63,1	45,1	25,2	1984	1463	886	383	2,97	2,43	1,73	0,97
27	9,82	23,9	21,9	17,5	10,4	12,4	13,6	15,2	17,1	86,5	72,2	53,0	30,8	1970	1517	966	453	3,20	2,67	1,96	1,14
28	10,23	25,3	23,5	19,3	12,3	12,9	13,9	15,4	17,3	96,1	81,6	61,3	37,0	1951	1559	1035	521	3,43	2,91	2,19	1,32
29	10,63	26,7	25,1	21,1	14,1	13,3	14,2	15,7	17,5	105,8	91,2	70,0	43,7	1928	1589	1095	585	3,65	3,14	2,41	1,51
30	11,03	28,0	26,5	22,8	15,9	13,7	14,5	15,9	17,7	115,7	101,0	79,0	50,9	1903	1610	1144	644	3,86	3,37	2,63	1,70
31	11,42	29,3	27,9	24,3	17,5	14,1	14,8	16,2	17,9	125,7	110,9	88,2	58,4	1876	1622	1184	698	4,06	3,58	2,85	1,88
32	11,82	30,4	29,1	25,7	19,2	14,5	15,1	16,4	18,1	135,8	120,9	97,6	66,3	1848	1627	1216	744	4,24	3,78	3,05	2,07
33	12,20	31,5	30,3	27,0	20,7	14,9	15,4	16,7	18,3	145,8	131,0	107,2	74,5	1818	1626	1241	785	4,42	3,97	3,25	2,26
34	12,59	32,5	31,4	28,3	22,0	15,2	15,7	16,9	18,5	155,9	141,0	116,8	82,9	1787	1619	1258	820	4,58	4,15	3,44	2,44
35	12,97	33,5	32,4	29,4	23,3	15,6	16,0	17,2	18,7	165,9	151,0	126,4	91,4	1757	1609	1270	848	4,74	4,31	3,61	2,61
36	13,35	34,4	33,3	30,4	24,5	15,9	16,3	17,4	18,9	175,9	160,9	136,1	100,1	1726	1595	1277	872	4,88	4,47	3,78	2,78

Annexe P (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 9 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	13,72	35,2	34,2	31,3	25,6	16,3	16,6	17,7	19,1	185,8	170,8	145,7	108,9	1695	1579	1279	891	5,02	4,62	3,94	2,94
38	14,08	36,0	35,0	32,2	26,6	16,6	16,9	17,9	19,3	195,6	180,6	155,2	117,7	1664	1560	1278	905	5,15	4,75	4,08	3,10
39	14,45	36,7	35,7	33,0	27,5	16,9	17,2	18,2	19,5	205,4	190,3	164,6	126,5	1634	1540	1274	916	5,27	4,88	4,22	3,24
40	14,80	37,4	36,4	33,7	28,3	17,2	17,5	18,4	19,8	215,0	199,8	174,0	135,3	1604	1518	1268	924	5,38	5,00	4,35	3,38
41	15,16	38,1	37,1	34,4	29,1	17,5	17,8	18,7	20,0	224,6	209,3	183,2	144,0	1575	1496	1259	928	5,48	5,10	4,47	3,51
42	15,51	38,7	37,7	35,0	29,8	17,8	18,1	18,9	20,2	234,0	218,6	192,4	152,7	1547	1473	1249	931	5,57	5,20	4,58	3,64
43	15,85	39,3	38,3	35,6	30,4	18,1	18,3	19,1	20,4	243,4	227,8	201,4	161,3	1520	1449	1238	931	5,66	5,30	4,68	3,75
44	16,19	39,8	38,8	36,2	31,0	18,4	18,6	19,4	20,6	252,7	236,9	210,2	169,8	1493	1426	1225	930	5,74	5,38	4,78	3,86
45	16,53	40,3	39,3	36,7	31,5	18,7	18,9	19,6	20,8	261,8	245,8	218,9	178,2	1467	1402	1212	927	5,82	5,46	4,87	3,96
46	16,86	40,8	39,8	37,2	32,0	19,0	19,2	19,9	21,0	270,9	254,7	227,5	186,4	1442	1378	1198	923	5,89	5,54	4,95	4,05
47	17,18	41,3	40,3	37,6	32,5	19,3	19,5	20,1	21,2	279,8	263,4	236,0	194,6	1417	1355	1184	918	5,95	5,60	5,02	4,14
48	17,50	41,7	40,7	38,0	32,9	19,5	19,7	20,3	21,4	288,6	271,9	244,3	202,6	1394	1332	1170	912	6,01	5,67	5,09	4,22
49	17,82	42,1	41,1	38,4	33,3	19,8	20,0	20,6	21,6	297,4	280,4	252,5	210,5	1371	1309	1155	906	6,07	5,72	5,15	4,30
50	18,13	42,5	41,5	38,8	33,7	20,0	20,3	20,8	21,8	306,0	288,8	260,5	218,2	1349	1287	1140	899	6,12	5,78	5,21	4,36
51	18,44	42,9	41,9	39,2	34,0	20,3	20,5	21,0	22,0	314,5	297,0	268,5	225,9	1328	1265	1126	891	6,17	5,82	5,26	4,43
52	18,74	43,3	42,2	39,5	34,4	20,5	20,8	21,3	22,3	322,9	305,1	276,2	233,4	1308	1243	1111	884	6,21	5,87	5,31	4,49
53	19,03	43,6	42,6	39,8	34,7	20,8	21,1	21,5	22,5	331,2	313,1	283,9	240,7	1288	1223	1096	876	6,25	5,91	5,36	4,54
54	19,33	43,9	42,9	40,1	35,0	21,0	21,3	21,7	22,7	339,4	321,0	291,5	247,9	1269	1202	1082	868	6,29	5,94	5,40	4,59
55	19,61	44,2	43,2	40,4	35,2	21,2	21,6	22,0	22,8	347,5	328,8	298,9	255,0	1251	1182	1068	860	6,32	5,98	5,43	4,64
56	19,90	44,6	43,5	40,7	35,5	21,4	21,8	22,2	23,0	355,5	336,5	306,2	262,0	1233	1163	1054	852	6,35	6,01	5,47	4,68
57	20,18	44,8	43,8	41,0	35,8	21,7	22,1	22,4	23,2	363,4	344,0	313,4	268,8	1216	1144	1040	843	6,38	6,04	5,50	4,72
58	20,45	45,1	44,1	41,3	36,0	21,9	22,3	22,6	23,4	371,2	351,5	320,5	275,5	1200	1126	1027	835	6,40	6,06	5,53	4,75
59	20,72	45,4	44,3	41,5	36,2	22,1	22,6	22,8	23,6	378,9	358,9	327,4	282,1	1184	1109	1014	827	6,42	6,08	5,55	4,78
60	20,98	45,7	44,6	41,8	36,5	22,3	22,8	23,0	23,8	386,5	366,1	334,3	288,6	1169	1092	1001	819	6,44	6,10	5,57	4,81

Annexe Q. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 10 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	2,37	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7	9,2	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	543	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	2,78	0,3	0,0	0,0	0,0	2,3	9,2	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	678	0	0	0	0,03	0,00	0,00	0,00
10	3,20	0,5	0,0	0,0	0,0	2,9	9,3	.	.	0,5	0,1	0,0	0,0	816	2	0	0	0,05	0,01	0,00	0,00
11	3,64	1,0	0,1	0,0	0,0	3,6	9,5	.	.	1,1	0,3	0,1	0,0	950	9	0	0	0,10	0,02	0,01	0,00
12	4,08	1,6	0,2	0,0	0,0	4,3	9,6	.	.	2,0	0,6	0,2	0,0	1079	25	0	0	0,17	0,05	0,01	0,00
13	4,53	2,4	0,4	0,0	0,0	5,0	9,8	12,1	.	3,4	1,2	0,4	0,1	1200	57	2	0	0,26	0,09	0,03	0,00
14	4,98	3,4	0,9	0,1	0,0	5,7	10,0	12,3	.	5,5	2,2	0,7	0,1	1310	111	7	0	0,39	0,16	0,05	0,01
15	5,44	4,6	1,6	0,2	0,0	6,4	10,3	12,6	.	8,3	3,8	1,4	0,3	1408	190	19	0	0,55	0,25	0,09	0,02
16	5,89	5,9	2,6	0,5	0,0	7,1	10,6	12,8	15,1	11,8	6,0	2,5	0,7	1495	292	41	2	0,74	0,38	0,16	0,04
17	6,35	7,5	3,8	1,0	0,1	7,8	10,8	13,0	15,3	16,3	9,0	4,1	1,2	1569	413	78	5	0,96	0,53	0,24	0,07
18	6,81	9,1	5,3	1,8	0,3	8,4	11,1	13,3	15,6	21,6	12,8	6,3	2,1	1630	546	132	13	1,20	0,71	0,35	0,11
19	7,27	10,9	7,1	2,9	0,5	9,1	11,5	13,6	15,8	27,7	17,6	9,2	3,3	1681	684	203	28	1,46	0,93	0,49	0,17
20	7,73	12,7	9,0	4,3	1,0	9,7	11,8	13,8	16,0	34,7	23,3	13,0	5,1	1720	821	287	51	1,74	1,16	0,65	0,25
21	8,19	14,5	11,0	6,0	1,8	10,3	12,1	14,1	16,3	42,5	29,8	17,6	7,4	1749	949	382	85	2,02	1,42	0,84	0,35
22	8,65	16,3	13,0	7,9	2,8	10,8	12,5	14,4	16,5	50,9	37,2	23,0	10,4	1769	1066	483	129	2,32	1,69	1,05	0,47
23	9,10	18,1	15,1	9,9	4,0	11,4	12,8	14,7	16,7	60,0	45,4	29,3	14,1	1781	1169	584	182	2,61	1,98	1,27	0,61
24	9,55	19,9	17,2	12,0	5,5	11,9	13,2	14,9	17,0	69,7	54,4	36,4	18,5	1786	1257	683	243	2,90	2,26	1,52	0,77
25	10,00	21,6	19,1	14,1	7,2	12,4	13,5	15,2	17,2	79,8	63,9	44,3	23,6	1785	1331	775	309	3,19	2,55	1,77	0,94
26	10,44	23,3	21,0	16,2	9,0	12,9	13,9	15,5	17,4	90,2	73,9	52,8	29,5	1778	1390	858	377	3,47	2,84	2,03	1,13
27	10,88	24,9	22,8	18,2	10,9	13,4	14,2	15,8	17,6	101,0	84,3	61,9	36,0	1767	1435	932	444	3,74	3,12	2,29	1,33
28	11,32	26,4	24,5	20,2	12,8	13,8	14,6	16,0	17,9	112,0	95,1	71,4	43,1	1752	1469	996	510	4,00	3,40	2,55	1,54
29	11,75	27,8	26,1	22,0	14,7	14,3	14,9	16,3	18,1	123,2	106,1	81,4	50,9	1734	1493	1050	571	4,25	3,66	2,81	1,75
30	12,18	29,2	27,6	23,7	16,5	14,7	15,3	16,6	18,3	134,4	117,3	91,7	59,1	1714	1508	1094	627	4,48	3,91	3,06	1,97
31	12,60	30,4	29,0	25,3	18,3	15,1	15,6	16,9	18,5	145,8	128,6	102,3	67,7	1692	1515	1130	677	4,70	4,15	3,30	2,18
32	13,02	31,6	30,3	26,8	19,9	15,5	15,9	17,2	18,8	157,1	140,0	113,0	76,7	1668	1516	1157	721	4,91	4,37	3,53	2,40
33	13,43	32,7	31,5	28,1	21,5	15,9	16,3	17,4	19,0	168,5	151,3	123,8	86,0	1643	1511	1177	758	5,11	4,59	3,75	2,61
34	13,84	33,8	32,6	29,4	22,9	16,3	16,6	17,7	19,2	179,8	162,6	134,7	95,6	1618	1502	1191	790	5,29	4,78	3,96	2,81
35	14,24	34,8	33,6	30,5	24,2	16,7	16,9	18,0	19,4	191,0	173,8	145,6	105,3	1592	1490	1200	816	5,46	4,97	4,16	3,01
36	14,63	35,7	34,6	31,5	25,4	17,0	17,3	18,3	19,7	202,1	185,0	156,4	115,1	1566	1474	1204	837	5,61	5,14	4,34	3,20

Annexe Q (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 10 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	15,02	36,5	35,4	32,5	26,6	17,4	17,6	18,5	19,9	213,1	196,0	167,1	124,9	1540	1457	1204	854	5,76	5,30	4,52	3,38
38	15,41	37,3	36,3	33,4	27,6	17,7	17,9	18,8	20,1	224,0	206,8	177,8	134,8	1514	1438	1201	866	5,90	5,44	4,68	3,55
39	15,79	38,1	37,0	34,2	28,5	18,0	18,2	19,1	20,4	234,8	217,5	188,3	144,6	1488	1417	1196	875	6,02	5,58	4,83	3,71
40	16,16	38,8	37,7	34,9	29,3	18,4	18,6	19,4	20,6	245,4	228,1	198,6	154,4	1463	1396	1188	881	6,14	5,70	4,97	3,86
41	16,53	39,4	38,4	35,6	30,1	18,7	18,9	19,6	20,8	255,9	238,5	208,8	164,1	1438	1374	1179	884	6,24	5,82	5,09	4,00
42	16,89	40,0	39,0	36,3	30,8	19,0	19,2	19,9	21,1	266,3	248,7	218,9	173,7	1414	1351	1168	886	6,34	5,92	5,21	4,14
43	17,25	40,6	39,6	36,9	31,5	19,3	19,5	20,1	21,3	276,5	258,8	228,7	183,2	1390	1329	1156	885	6,43	6,02	5,32	4,26
44	17,60	41,2	40,1	37,4	32,1	19,6	19,8	20,4	21,5	286,6	268,6	238,4	192,6	1367	1306	1144	883	6,51	6,11	5,42	4,38
45	17,94	41,7	40,7	37,9	32,6	19,9	20,1	20,7	21,7	296,5	278,3	247,9	201,7	1345	1284	1130	879	6,59	6,19	5,51	4,48
46	18,28	42,2	41,1	38,4	33,1	20,1	20,4	20,9	22,0	306,2	287,9	257,2	210,8	1323	1261	1117	874	6,66	6,26	5,59	4,58
47	18,61	42,6	41,6	38,8	33,6	20,4	20,7	21,2	22,2	315,8	297,3	266,4	219,6	1302	1239	1103	869	6,72	6,32	5,67	4,67
48	18,94	43,1	42,0	39,3	34,0	20,7	21,0	21,4	22,4	325,3	306,5	275,3	228,3	1282	1218	1088	863	6,78	6,38	5,74	4,76
49	19,26	43,5	42,4	39,7	34,4	20,9	21,2	21,7	22,6	334,6	315,5	284,1	236,9	1263	1197	1074	856	6,83	6,44	5,80	4,83
50	19,58	43,9	42,8	40,0	34,8	21,2	21,5	21,9	22,8	343,8	324,4	292,7	245,2	1244	1176	1060	849	6,88	6,49	5,85	4,90
51	19,89	44,2	43,2	40,4	35,1	21,4	21,8	22,2	23,0	352,8	333,2	301,2	253,4	1226	1156	1046	842	6,92	6,53	5,91	4,97
52	20,20	44,6	43,5	40,7	35,4	21,7	22,1	22,4	23,3	361,7	341,8	309,4	261,4	1208	1137	1032	834	6,96	6,57	5,95	5,03
53	20,50	44,9	43,9	41,0	35,7	21,9	22,4	22,7	23,5	370,5	350,2	317,6	269,2	1191	1118	1018	826	6,99	6,61	5,99	5,08
54	20,79	45,2	44,2	41,3	36,0	22,1	22,6	22,9	23,7	379,1	358,5	325,5	276,9	1175	1099	1005	819	7,02	6,64	6,03	5,13
55	21,08	45,6	44,5	41,6	36,3	22,4	22,9	23,1	23,9	387,6	366,7	333,3	284,4	1159	1081	992	811	7,05	6,67	6,06	5,17
56	21,37	45,9	44,8	41,9	36,6	22,6	23,1	23,4	24,1	395,9	374,7	341,0	291,8	1144	1064	979	803	7,07	6,69	6,09	5,21
57	21,65	46,1	45,0	42,2	36,8	22,8	23,4	23,6	24,3	404,2	382,6	348,5	298,9	1129	1047	966	795	7,09	6,71	6,11	5,24
58	21,92	46,4	45,3	42,4	37,0	23,0	23,7	23,8	24,5	412,3	390,3	355,9	306,0	1115	1031	953	787	7,11	6,73	6,14	5,28
59	22,19	46,7	45,6	42,7	37,3	23,2	23,9	24,0	24,7	420,2	398,0	363,1	312,9	1102	1015	941	779	7,12	6,75	6,15	5,30
60	22,45	46,9	45,8	42,9	37,5	23,4	24,2	24,2	24,9	428,1	405,5	370,2	319,6	1089	999	930	772	7,13	6,76	6,17	5,33

Annexe R. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 11 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	2,67	0,1	0,0	0,0	0,0	1,9	9,2	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	479	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	3,13	0,3	0,0	0,0	0,0	2,5	9,3	.	.	0,3	0,0	0,0	0,0	599	1	0	0	0,03	0,00	0,00	0,00
10	3,60	0,6	0,0	0,0	0,0	3,2	9,4	.	.	0,6	0,1	0,0	0,0	722	3	0	0	0,06	0,01	0,00	0,00
11	4,08	1,0	0,1	0,0	0,0	3,9	9,5	.	.	1,3	0,3	0,1	0,0	843	9	0	0	0,12	0,03	0,01	0,00
12	4,57	1,6	0,2	0,0	0,0	4,7	9,7	12,1	.	2,4	0,7	0,2	0,0	958	26	0	0	0,20	0,06	0,01	0,00
13	5,06	2,5	0,5	0,0	0,0	5,4	9,9	12,3	.	4,1	1,4	0,4	0,1	1067	58	2	0	0,31	0,11	0,03	0,01
14	5,56	3,5	0,9	0,1	0,0	6,2	10,2	12,5	.	6,5	2,6	0,9	0,2	1166	113	7	0	0,46	0,19	0,06	0,01
15	6,06	4,8	1,6	0,2	0,0	6,9	10,5	12,7	15,1	9,7	4,5	1,7	0,4	1256	191	19	1	0,65	0,30	0,11	0,03
16	6,56	6,2	2,7	0,6	0,0	7,7	10,8	13,0	15,3	13,9	7,1	2,9	0,8	1335	291	42	2	0,87	0,44	0,18	0,05
17	7,06	7,8	4,0	1,1	0,1	8,4	11,1	13,3	15,6	19,1	10,6	4,8	1,4	1403	410	79	6	1,12	0,62	0,28	0,08
18	7,56	9,5	5,6	1,9	0,3	9,1	11,5	13,6	15,8	25,2	15,0	7,4	2,4	1460	538	132	13	1,40	0,84	0,41	0,13
19	8,06	11,3	7,4	3,1	0,6	9,8	11,8	13,9	16,1	32,4	20,6	10,8	3,9	1507	670	202	28	1,70	1,08	0,57	0,20
20	8,56	13,2	9,4	4,5	1,1	10,4	12,2	14,2	16,4	40,5	27,1	15,1	5,9	1545	799	284	51	2,02	1,36	0,76	0,30
21	9,06	15,1	11,4	6,2	1,8	11,1	12,6	14,5	16,6	49,4	34,7	20,5	8,6	1573	919	377	84	2,35	1,65	0,97	0,41
22	9,55	17,0	13,6	8,2	2,9	11,7	13,0	14,8	16,9	59,2	43,3	26,7	12,1	1593	1027	473	128	2,69	1,97	1,22	0,55
23	10,04	18,9	15,7	10,3	4,2	12,2	13,4	15,1	17,2	69,6	52,7	34,0	16,3	1606	1121	570	180	3,03	2,29	1,48	0,71
24	10,52	20,7	17,8	12,4	5,7	12,8	13,8	15,5	17,4	80,6	62,9	42,1	21,4	1613	1200	663	239	3,36	2,62	1,76	0,89
25	11,00	22,5	19,9	14,6	7,4	13,3	14,2	15,8	17,7	92,1	73,8	51,1	27,3	1614	1264	750	303	3,68	2,95	2,04	1,09
26	11,47	24,2	21,8	16,8	9,3	13,8	14,5	16,1	17,9	104,0	85,2	60,8	34,0	1610	1315	828	369	4,00	3,28	2,34	1,31
27	11,94	25,8	23,7	18,9	11,3	14,3	14,9	16,4	18,2	116,2	97,0	71,2	41,4	1602	1354	897	434	4,30	3,59	2,64	1,53
28	12,41	27,4	25,5	20,9	13,3	14,8	15,3	16,7	18,4	128,6	109,2	82,1	49,5	1591	1382	955	497	4,59	3,90	2,93	1,77
29	12,86	28,9	27,1	22,8	15,2	15,3	15,7	17,0	18,7	141,2	121,7	93,4	58,3	1577	1400	1004	555	4,87	4,20	3,22	2,01
30	13,31	30,2	28,6	24,6	17,1	15,7	16,1	17,3	18,9	153,8	134,2	105,0	67,6	1560	1410	1044	608	5,13	4,47	3,50	2,25
31	13,76	31,5	30,0	26,2	18,9	16,1	16,4	17,6	19,2	166,5	146,9	116,8	77,4	1542	1414	1075	655	5,37	4,74	3,77	2,50
32	14,20	32,8	31,4	27,7	20,6	16,6	16,8	17,9	19,4	179,2	159,6	128,9	87,5	1522	1412	1098	696	5,60	4,99	4,03	2,73
33	14,63	33,9	32,6	29,1	22,2	17,0	17,2	18,2	19,7	191,7	172,2	140,9	97,9	1502	1405	1115	730	5,81	5,22	4,27	2,97
34	15,05	35,0	33,7	30,4	23,7	17,3	17,5	18,5	19,9	204,2	184,7	153,0	108,6	1480	1394	1126	759	6,01	5,43	4,50	3,19
35	15,47	36,0	34,8	31,5	25,1	17,7	17,9	18,8	20,2	216,6	197,2	165,1	119,4	1458	1381	1133	783	6,19	5,63	4,72	3,41
36	15,89	36,9	35,7	32,6	26,3	18,1	18,3	19,1	20,4	228,8	209,4	177,1	130,3	1436	1365	1135	802	6,36	5,82	4,92	3,62

Annexe R (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 11 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	16,29	37,7	36,6	33,6	27,4	18,4	18,6	19,4	20,7	240,9	221,5	188,9	141,2	1414	1347	1133	817	6,51	5,99	5,11	3,82
38	16,69	38,6	37,5	34,5	28,5	18,8	19,0	19,7	20,9	252,8	233,4	200,6	152,1	1391	1328	1129	828	6,65	6,14	5,28	4,00
39	17,08	39,3	38,2	35,3	29,4	19,1	19,3	20,0	21,2	264,5	245,1	212,1	162,9	1369	1308	1123	835	6,78	6,28	5,44	4,18
40	17,47	40,0	38,9	36,1	30,3	19,4	19,6	20,3	21,4	276,0	256,5	223,4	173,7	1348	1287	1115	840	6,90	6,41	5,58	4,34
41	17,84	40,7	39,6	36,8	31,1	19,8	20,0	20,6	21,7	287,4	267,8	234,5	184,3	1326	1266	1105	842	7,01	6,53	5,72	4,49
42	18,22	41,3	40,2	37,4	31,8	20,1	20,3	20,9	21,9	298,5	278,8	245,3	194,8	1305	1245	1094	842	7,11	6,64	5,84	4,64
43	18,58	41,9	40,8	38,0	32,4	20,4	20,6	21,1	22,2	309,5	289,6	256,0	205,1	1285	1223	1082	841	7,20	6,73	5,95	4,77
44	18,94	42,4	41,4	38,5	33,0	20,7	20,9	21,4	22,4	320,2	300,2	266,4	215,2	1265	1202	1069	838	7,28	6,82	6,05	4,89
45	19,29	42,9	41,9	39,1	33,6	20,9	21,2	21,7	22,6	330,8	310,5	276,6	225,1	1246	1181	1056	834	7,35	6,90	6,15	5,00
46	19,63	43,4	42,3	39,5	34,1	21,2	21,6	22,0	22,9	341,1	320,7	286,5	234,8	1227	1160	1043	829	7,42	6,97	6,23	5,10
47	19,97	43,9	42,8	40,0	34,5	21,5	21,9	22,2	23,1	351,3	330,6	296,3	244,3	1209	1140	1030	824	7,47	7,03	6,30	5,20
48	20,30	44,3	43,2	40,4	35,0	21,8	22,2	22,5	23,3	361,3	340,4	305,8	253,6	1192	1120	1016	818	7,53	7,09	6,37	5,28
49	20,63	44,7	43,6	40,8	35,4	22,0	22,5	22,8	23,6	371,1	349,9	315,0	262,7	1175	1101	1003	811	7,57	7,14	6,43	5,36
50	20,95	45,1	44,0	41,1	35,7	22,3	22,8	23,0	23,8	380,7	359,2	324,1	271,5	1158	1082	989	804	7,61	7,18	6,48	5,43
51	21,26	45,4	44,3	41,5	36,1	22,5	23,0	23,3	24,0	390,1	368,4	333,0	280,2	1143	1064	976	797	7,65	7,22	6,53	5,49
52	21,57	45,8	44,7	41,8	36,4	22,7	23,3	23,5	24,2	399,4	377,3	341,6	288,6	1127	1046	963	789	7,68	7,26	6,57	5,55
53	21,87	46,1	45,0	42,1	36,7	23,0	23,6	23,8	24,4	408,4	386,1	350,1	296,8	1113	1029	950	782	7,71	7,28	6,61	5,60
54	22,16	46,4	45,3	42,4	37,0	23,2	23,9	24,0	24,7	417,4	394,7	358,4	304,9	1098	1012	938	774	7,73	7,31	6,64	5,65
55	22,45	46,7	45,6	42,7	37,2	23,4	24,1	24,2	24,9	426,1	403,1	366,5	312,7	1085	996	926	767	7,75	7,33	6,66	5,69
56	22,73	47,0	45,9	43,0	37,5	23,6	24,4	24,5	25,1	434,7	411,4	374,4	320,3	1072	980	914	759	7,76	7,35	6,69	5,72
57	23,00	47,3	46,2	43,2	37,7	23,8	24,7	24,7	25,3	443,1	419,5	382,1	327,8	1059	965	902	752	7,77	7,36	6,70	5,75
58	23,27	47,6	46,4	43,5	37,9	24,0	24,9	24,9	25,5	451,4	427,4	389,7	335,0	1047	951	890	744	7,78	7,37	6,72	5,78
59	23,54	47,8	46,7	43,7	38,2	24,2	25,2	25,2	25,7	459,5	435,2	397,1	342,1	1035	937	879	737	7,79	7,38	6,73	5,80
60	23,80	48,1	46,9	43,9	38,4	24,4	25,4	25,4	25,9	467,5	442,8	404,3	349,0	1024	923	869	730	7,79	7,38	6,74	5,82

Annexe S. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 12 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	2,98	0,1	0,0	0,0	0,0	2,0	9,2	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	426	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00
9	3,49	0,3	0,0	0,0	0,0	2,7	9,3	.	.	0,3	0,0	0,0	0,0	534	1	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
10	4,01	0,6	0,0	0,0	0,0	3,4	9,4	.	.	0,7	0,1	0,0	0,0	644	3	0	0	0,07	0,01	0,00	0,00
11	4,54	1,1	0,1	0,0	0,0	4,2	9,6	.	.	1,5	0,4	0,1	0,0	753	10	0	0	0,14	0,03	0,01	0,00
12	5,07	1,7	0,2	0,0	0,0	5,0	9,8	12,1	.	2,8	0,8	0,2	0,0	858	26	1	0	0,23	0,07	0,02	0,00
13	5,61	2,6	0,5	0,0	0,0	5,8	10,1	12,4	.	4,8	1,7	0,5	0,1	957	59	2	0	0,37	0,13	0,04	0,01
14	6,15	3,7	1,0	0,1	0,0	6,7	10,4	12,6	.	7,6	3,1	1,0	0,2	1048	114	7	0	0,54	0,22	0,07	0,01
15	6,70	5,0	1,7	0,3	0,0	7,5	10,7	12,9	15,2	11,3	5,2	1,9	0,4	1130	191	19	1	0,76	0,35	0,13	0,03
16	7,24	6,4	2,8	0,6	0,0	8,3	11,0	13,2	15,5	16,2	8,2	3,4	0,9	1203	290	42	2	1,01	0,51	0,21	0,06
17	7,79	8,1	4,1	1,1	0,1	9,0	11,4	13,6	15,8	22,1	12,2	5,5	1,6	1266	404	79	6	1,30	0,72	0,33	0,10
18	8,33	9,9	5,8	2,0	0,3	9,8	11,8	13,9	16,1	29,2	17,4	8,5	2,8	1319	528	132	14	1,62	0,97	0,47	0,15
19	8,87	11,8	7,7	3,2	0,6	10,5	12,2	14,2	16,4	37,4	23,7	12,5	4,5	1364	653	200	28	1,97	1,25	0,66	0,24
20	9,40	13,7	9,7	4,7	1,1	11,2	12,6	14,6	16,7	46,6	31,3	17,4	6,8	1400	774	280	51	2,33	1,56	0,87	0,34
21	9,93	15,7	11,9	6,5	1,9	11,8	13,1	14,9	17,0	56,8	39,9	23,5	9,9	1427	886	369	84	2,71	1,90	1,12	0,47
22	10,46	17,6	14,1	8,5	3,0	12,5	13,5	15,3	17,3	67,9	49,6	30,7	13,9	1448	985	462	126	3,09	2,26	1,39	0,63
23	10,98	19,6	16,3	10,6	4,3	13,1	13,9	15,6	17,6	79,7	60,3	38,9	18,7	1461	1070	554	177	3,46	2,62	1,69	0,81
24	11,49	21,5	18,5	12,9	5,9	13,6	14,4	16,0	17,9	92,1	71,9	48,2	24,4	1469	1141	642	235	3,84	2,99	2,01	1,02
25	12,00	23,3	20,6	15,2	7,7	14,2	14,8	16,3	18,2	105,1	84,1	58,3	31,1	1472	1198	724	297	4,20	3,36	2,33	1,24
26	12,50	25,1	22,6	17,4	9,6	14,7	15,2	16,7	18,5	118,4	97,0	69,2	38,7	1471	1242	796	360	4,55	3,73	2,66	1,49
27	13,00	26,7	24,5	19,6	11,7	15,2	15,7	17,0	18,7	132,0	110,3	80,9	47,0	1466	1275	860	423	4,89	4,08	3,00	1,74
28	13,48	28,3	26,3	21,6	13,7	15,7	16,1	17,4	19,0	145,9	123,9	93,1	56,2	1457	1298	913	482	5,21	4,42	3,32	2,01
29	13,96	29,8	28,0	23,6	15,7	16,2	16,5	17,7	19,3	159,8	137,7	105,7	66,0	1446	1312	958	537	5,51	4,75	3,64	2,28
30	14,43	31,2	29,6	25,4	17,7	16,7	16,9	18,0	19,6	173,8	151,7	118,6	76,4	1433	1319	993	587	5,79	5,06	3,95	2,55
31	14,90	32,6	31,0	27,1	19,5	17,1	17,3	18,4	19,9	187,8	165,7	131,8	87,3	1418	1319	1021	631	6,06	5,35	4,25	2,81
32	15,36	33,8	32,4	28,6	21,3	17,5	17,7	18,7	20,1	201,7	179,7	145,1	98,5	1401	1315	1041	670	6,30	5,61	4,53	3,08
33	15,80	35,0	33,6	30,0	22,9	17,9	18,1	19,0	20,4	215,5	193,6	158,4	110,1	1384	1307	1056	702	6,53	5,87	4,80	3,34
34	16,25	36,1	34,8	31,3	24,4	18,3	18,5	19,4	20,7	229,2	207,3	171,7	121,8	1366	1295	1064	729	6,74	6,10	5,05	3,58
35	16,68	37,1	35,8	32,5	25,8	18,7	18,9	19,7	20,9	242,6	220,8	184,9	133,7	1347	1281	1069	751	6,93	6,31	5,28	3,82
36	17,10	38,0	36,8	33,6	27,1	19,1	19,2	20,0	21,2	255,9	234,2	198,0	145,7	1328	1265	1070	768	7,11	6,50	5,50	4,05

Annexe S (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 12 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	17,52	38,9	37,7	34,6	28,3	19,4	19,6	20,3	21,5	268,9	247,3	210,9	157,6	1309	1248	1067	781	7,27	6,68	5,70	4,26
38	17,93	39,7	38,6	35,5	29,3	19,8	20,0	20,6	21,7	281,7	260,1	223,5	169,5	1290	1229	1062	790	7,41	6,84	5,86	4,46
39	18,33	40,4	39,3	36,3	30,3	20,1	20,3	20,9	22,0	294,3	272,7	236,0	181,3	1271	1210	1055	797	7,55	6,99	6,05	4,65
40	18,72	41,2	40,1	37,1	31,1	20,5	20,7	21,2	22,3	306,6	284,9	248,1	192,9	1252	1191	1047	800	7,67	7,12	6,20	4,82
41	19,11	41,8	40,7	37,8	31,9	20,8	21,0	21,5	22,5	318,7	297,0	260,0	204,4	1234	1171	1037	802	7,77	7,24	6,34	4,98
42	19,49	42,4	41,3	38,4	32,7	21,1	21,4	21,8	22,8	330,5	308,7	271,7	215,6	1216	1151	1026	802	7,87	7,35	6,47	5,13
43	19,86	43,0	41,9	39,0	33,3	21,4	21,7	22,1	23,0	342,1	320,2	283,0	226,7	1198	1131	1015	800	7,96	7,45	6,58	5,27
44	20,22	43,5	42,5	39,6	33,9	21,7	22,1	22,4	23,3	353,4	331,3	294,1	237,5	1181	1111	1003	797	8,03	7,53	6,68	5,40
45	20,57	44,1	43,0	40,1	34,5	22,0	22,4	22,7	23,5	364,5	342,3	304,8	248,1	1164	1092	990	793	8,10	7,61	6,77	5,51
46	20,92	44,5	43,4	40,6	35,0	22,2	22,7	23,0	23,8	375,4	352,9	315,3	258,4	1148	1073	978	788	8,16	7,67	6,85	5,62
47	21,26	45,0	43,9	41,0	35,4	22,5	23,0	23,3	24,0	386,0	363,3	325,5	268,4	1132	1054	965	782	8,21	7,73	6,93	5,71
48	21,59	45,4	44,3	41,4	35,8	22,7	23,3	23,5	24,2	396,4	373,4	335,5	278,2	1117	1036	952	776	8,26	7,78	6,99	5,80
49	21,91	45,8	44,7	41,8	36,2	23,0	23,6	23,8	24,5	406,5	383,3	345,2	287,8	1102	1019	940	770	8,30	7,82	7,04	5,87
50	22,23	46,2	45,1	42,2	36,6	23,2	23,9	24,1	24,7	416,5	393,0	354,6	297,0	1088	1002	927	763	8,33	7,86	7,09	5,94
51	22,54	46,5	45,4	42,5	36,9	23,5	24,2	24,3	24,9	426,2	402,4	363,8	306,1	1074	985	915	756	8,36	7,89	7,13	6,00
52	22,84	46,9	45,7	42,8	37,2	23,7	24,5	24,6	25,2	435,7	411,6	372,7	314,9	1061	969	903	749	8,38	7,92	7,17	6,05
53	23,14	47,2	46,1	43,1	37,5	23,9	24,8	24,8	25,4	445,0	420,6	381,4	323,4	1048	953	891	742	8,40	7,94	7,20	6,10
54	23,43	47,5	46,4	43,4	37,8	24,2	25,1	25,1	25,6	454,1	429,4	389,9	331,7	1036	938	880	735	8,41	7,95	7,22	6,14
55	23,71	47,8	46,6	43,7	38,1	24,4	25,4	25,3	25,8	463,0	438,0	398,2	339,7	1024	924	868	728	8,42	7,96	7,24	6,18
56	23,99	48,1	46,9	43,9	38,3	24,6	25,6	25,5	26,0	471,7	446,4	406,2	347,6	1012	910	857	721	8,42	7,97	7,25	6,21
57	24,26	48,3	47,2	44,2	38,5	24,8	25,9	25,8	26,2	480,2	454,5	414,1	355,2	1001	897	847	714	8,42	7,97	7,26	6,23
58	24,52	48,6	47,4	44,4	38,8	25,0	26,1	26,0	26,4	488,5	462,5	421,7	362,6	991	884	836	707	8,42	7,97	7,27	6,25
59	24,78	48,8	47,7	44,6	39,0	25,2	26,4	26,2	26,6	496,7	470,4	429,2	369,8	981	871	826	700	8,42	7,97	7,27	6,27
60	25,03	49,0	47,9	44,8	39,2	25,4	26,6	26,4	26,8	504,6	478,0	436,4	376,7	971	859	817	694	8,41	7,97	7,27	6,28

Annexe T. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 13 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	3,30	0,1	0,0	0,0	0,0	2,2	9,2	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	382	0	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
9	3,86	0,3	0,0	0,0	0,0	2,9	9,3	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	480	1	0	0	0,04	0,01	0,00	0,00
10	4,43	0,6	0,0	0,0	0,0	3,7	9,5	.	.	0,9	0,2	0,0	0,0	579	3	0	0	0,09	0,02	0,00	0,00
11	5,01	1,1	0,1	0,0	0,0	4,5	9,7	12,0	.	1,8	0,4	0,1	0,0	678	10	0	0	0,16	0,04	0,01	0,00
12	5,59	1,8	0,2	0,0	0,0	5,4	9,9	12,2	.	3,2	1,0	0,2	0,0	774	27	1	0	0,27	0,08	0,02	0,00
13	6,18	2,7	0,5	0,0	0,0	6,3	10,2	12,5	.	5,5	2,0	0,6	0,1	864	60	2	0	0,42	0,15	0,04	0,01
14	6,77	3,8	1,0	0,1	0,0	7,1	10,6	12,8	15,1	8,7	3,6	1,2	0,2	948	114	7	0	0,62	0,25	0,08	0,02
15	7,36	5,1	1,8	0,3	0,0	8,0	10,9	13,1	15,4	13,0	6,0	2,2	0,5	1024	190	19	1	0,87	0,40	0,15	0,03
16	7,94	6,7	2,9	0,6	0,0	8,8	11,3	13,5	15,7	18,6	9,4	3,9	1,0	1091	287	42	2	1,16	0,59	0,24	0,06
17	8,53	8,4	4,3	1,2	0,1	9,6	11,7	13,8	16,1	25,4	14,0	6,3	1,9	1150	397	78	8	1,49	0,83	0,37	0,11
18	9,11	10,2	6,0	2,1	0,3	10,4	12,2	14,2	16,4	33,4	19,9	9,7	3,2	1201	516	130	14	1,86	1,11	0,54	0,18
19	9,68	12,2	7,9	3,3	0,6	11,2	12,6	14,6	16,7	42,7	27,1	14,2	5,1	1243	634	197	28	2,25	1,43	0,75	0,27
20	10,25	14,2	10,1	4,8	1,2	11,9	13,1	15,0	17,1	53,1	35,6	19,9	7,8	1277	747	275	51	2,66	1,78	0,99	0,39
21	10,82	16,2	12,3	6,7	2,0	12,6	13,6	15,4	17,4	64,6	45,4	26,7	11,3	1304	851	360	83	3,08	2,16	1,27	0,54
22	11,37	18,2	14,6	8,8	3,1	13,2	14,0	15,8	17,7	77,1	56,3	34,8	15,7	1325	942	449	124	3,50	2,56	1,58	0,71
23	11,92	20,2	16,9	11,0	4,5	13,9	14,5	16,2	18,1	90,3	68,4	44,1	21,2	1339	1019	537	174	3,93	2,97	1,92	0,92
24	12,47	22,2	19,1	13,3	6,1	14,5	15,0	16,5	18,4	104,2	81,3	54,5	27,6	1349	1082	620	230	4,34	3,39	2,27	1,15
25	13,00	24,1	21,3	15,7	8,0	15,0	15,5	16,9	18,7	118,6	94,9	65,8	35,1	1353	1133	696	290	4,74	3,80	2,63	1,40
26	13,53	25,9	23,3	18,0	10,0	15,6	15,9	17,3	19,0	133,4	109,2	78,0	43,6	1353	1171	764	351	5,13	4,20	3,00	1,68
27	14,04	27,6	25,3	20,2	12,0	16,1	16,4	17,7	19,3	148,5	124,0	90,9	52,9	1350	1199	823	410	5,50	4,59	3,37	1,96
28	14,55	29,2	27,2	22,3	14,1	16,6	16,8	18,1	19,6	163,7	139,0	104,4	63,1	1344	1218	872	467	5,85	4,96	3,73	2,25
29	15,05	30,8	28,9	24,3	16,2	17,1	17,3	18,4	19,9	179,0	154,3	118,4	73,9	1336	1229	912	519	6,17	5,32	4,08	2,55
30	15,54	32,2	30,5	26,2	18,2	17,6	17,7	18,8	20,2	194,4	169,6	132,6	85,4	1325	1233	944	567	6,48	5,65	4,42	2,85
31	16,02	33,5	32,0	27,9	20,1	18,0	18,2	19,1	20,5	209,6	184,9	147,1	97,4	1313	1232	969	608	6,76	5,97	4,75	3,14
32	16,49	34,8	33,3	29,5	21,9	18,5	18,6	19,5	20,8	224,7	200,2	161,6	109,8	1299	1226	987	644	7,02	6,26	5,05	3,43
33	16,96	36,0	34,6	30,9	23,6	18,9	19,0	19,8	21,1	239,7	215,3	176,2	122,4	1285	1217	999	674	7,26	6,52	5,34	3,71
34	17,41	37,1	35,8	32,2	25,1	19,3	19,4	20,2	21,4	254,4	230,1	190,6	135,3	1270	1205	1006	699	7,48	6,77	5,61	3,98
35	17,85	38,1	36,8	33,4	26,6	19,7	19,8	20,5	21,7	268,9	244,8	205,0	148,2	1254	1192	1009	719	7,68	6,99	5,86	4,23
36	18,29	39,0	37,8	34,5	27,9	20,0	20,2	20,9	22,0	283,1	259,1	219,1	161,2	1238	1176	1009	734	7,86	7,20	6,09	4,48

Annexe T (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 13 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	18,71	39,9	38,7	35,5	29,0	20,4	20,6	21,2	22,3	297,1	273,1	232,9	174,1	1221	1159	1006	746	8,03	7,38	6,30	4,71
38	19,13	40,7	39,6	36,4	30,1	20,8	21,0	21,5	22,5	310,7	286,8	246,5	186,9	1205	1142	1001	755	8,18	7,55	6,49	4,92
39	19,54	41,5	40,4	37,3	31,1	21,1	21,4	21,9	22,8	324,0	300,2	259,8	199,6	1188	1124	994	760	8,31	7,70	6,66	5,12
40	19,93	42,2	41,1	38,0	32,0	21,4	21,8	22,2	23,1	337,1	313,2	272,8	212,1	1172	1105	985	763	8,43	7,83	6,82	5,30
41	20,32	42,9	41,8	38,7	32,7	21,7	22,1	22,5	23,4	349,8	325,9	285,4	224,3	1156	1087	976	764	8,53	7,95	6,96	5,47
42	20,70	43,5	42,4	39,4	33,5	22,0	22,5	22,8	23,6	362,2	338,3	297,7	236,3	1141	1068	965	764	8,62	8,05	7,09	5,63
43	21,07	44,1	42,9	40,0	34,1	22,3	22,8	23,1	23,9	374,3	350,3	309,6	248,0	1125	1050	954	762	8,71	8,15	7,20	5,77
44	21,44	44,6	43,5	40,5	34,7	22,6	23,2	23,4	24,1	386,1	362,0	321,3	259,5	1110	1032	943	759	8,78	8,23	7,30	5,90
45	21,79	45,1	44,0	41,0	35,3	22,9	23,5	23,7	24,4	397,7	373,4	332,5	270,6	1096	1014	931	755	8,84	8,30	7,39	6,01
46	22,14	45,6	44,4	41,5	35,8	23,2	23,8	24,0	24,6	408,9	384,4	343,5	281,4	1081	997	920	750	8,89	8,36	7,47	6,12
47	22,47	46,0	44,9	41,9	36,2	23,4	24,1	24,3	24,9	419,8	395,2	354,1	292,0	1068	980	908	745	8,93	8,41	7,53	6,21
48	22,80	46,4	45,3	42,3	36,6	23,7	24,5	24,5	25,1	430,5	405,6	364,4	302,2	1054	964	896	739	8,97	8,45	7,59	6,30
49	23,12	46,8	45,7	42,7	37,0	23,9	24,8	24,8	25,4	440,9	415,8	374,4	312,1	1041	948	884	733	9,00	8,48	7,64	6,37
50	23,44	47,2	46,0	43,1	37,4	24,2	25,1	25,1	25,6	451,1	425,6	384,0	321,7	1029	932	873	726	9,02	8,51	7,68	6,43
51	23,74	47,5	46,4	43,4	37,7	24,4	25,4	25,3	25,8	460,9	435,3	393,4	331,0	1017	918	862	720	9,04	8,53	7,71	6,49
52	24,04	47,8	46,7	43,7	38,0	24,6	25,7	25,6	26,1	470,6	444,6	402,6	340,1	1005	903	851	713	9,05	8,55	7,74	6,54
53	24,33	48,2	47,0	44,0	38,3	24,8	25,9	25,8	26,3	480,0	453,7	411,4	348,8	994	889	840	707	9,06	8,56	7,76	6,58
54	24,61	48,4	47,3	44,3	38,6	25,0	26,2	26,1	26,5	489,1	462,6	420,0	357,3	983	876	829	700	9,06	8,57	7,78	6,62
55	24,89	48,7	47,6	44,5	38,8	25,3	26,5	26,3	26,7	498,1	471,2	428,3	365,5	973	863	819	693	9,06	8,57	7,79	6,65
56	25,16	49,0	47,8	44,8	39,1	25,5	26,8	26,5	26,9	506,8	479,6	436,4	373,4	963	850	809	687	9,05	8,56	7,79	6,67
57	25,42	49,2	48,1	45,0	39,3	25,6	27,0	26,8	27,1	515,3	487,8	444,3	381,1	953	838	799	680	9,04	8,56	7,79	6,69
58	25,67	49,5	48,3	45,2	39,5	25,8	27,3	27,0	27,3	523,5	495,7	451,9	388,6	944	827	790	674	9,03	8,55	7,79	6,70
59	25,92	49,7	48,5	45,5	39,7	26,0	27,5	27,2	27,5	531,6	503,5	459,4	395,8	935	816	781	668	9,01	8,53	7,79	6,71
60	26,16	49,9	48,7	45,7	39,9	26,2	27,8	27,4	27,7	539,5	511,0	466,6	402,8	927	805	772	662	8,99	8,52	7,78	6,71

Annexe U. Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 14 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m²/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m³/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
8	3,64	0,1	0,0	0,0	0,0	2,3	9,2	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	344	0	0	0	0,02	0,00	0,00	0,00
9	4,25	0,3	0,0	0,0	0,0	3,1	9,4	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	433	1	0	0	0,05	0,01	0,00	0,00
10	4,87	0,6	0,0	0,0	0,0	4,0	9,6	.	.	1,0	0,2	0,0	0,0	524	3	0	0	0,10	0,02	0,00	0,00
11	5,50	1,1	0,1	0,0	0,0	4,9	9,8	12,1	.	2,0	0,5	0,1	0,0	615	10	0	0	0,18	0,05	0,01	0,00
12	6,13	1,8	0,2	0,0	0,0	5,8	10,1	12,4	.	3,7	1,1	0,3	0,0	702	27	1	0	0,31	0,09	0,02	0,00
13	6,77	2,8	0,5	0,0	0,0	6,7	10,4	12,6	.	6,3	2,2	0,7	0,1	785	60	2	0	0,49	0,17	0,05	0,01
14	7,40	3,9	1,0	0,1	0,0	7,6	10,8	13,0	15,3	10,0	4,1	1,4	0,3	863	114	7	0	0,71	0,29	0,10	0,02
15	8,03	5,3	1,8	0,3	0,0	8,5	11,2	13,3	15,6	14,9	6,8	2,6	0,6	933	189	19	1	0,99	0,46	0,17	0,04
16	8,66	6,9	3,0	0,6	0,0	9,4	11,6	13,7	16,0	21,2	10,8	4,4	1,2	996	282	42	2	1,32	0,67	0,28	0,07
17	9,28	8,7	4,4	1,2	0,1	10,3	12,1	14,1	16,3	28,8	16,0	7,2	2,1	1052	389	78	6	1,70	0,94	0,42	0,12
18	9,90	10,6	6,2	2,1	0,3	11,1	12,6	14,6	16,7	37,9	22,6	11,1	3,6	1099	502	129	13	2,11	1,26	0,61	0,20
19	10,51	12,6	8,2	3,4	0,6	11,9	13,1	15,0	17,1	48,3	30,7	16,1	5,8	1140	613	193	28	2,54	1,62	0,85	0,30
20	11,11	14,7	10,4	5,0	1,2	12,6	13,6	15,4	17,5	60,0	40,2	22,5	8,8	1173	719	268	50	3,00	2,01	1,12	0,44
21	11,71	16,7	12,7	6,9	2,0	13,3	14,1	15,8	17,8	72,9	51,2	30,2	12,7	1200	815	351	81	3,47	2,44	1,44	0,61
22	12,30	18,8	15,0	9,1	3,2	14,0	14,6	16,3	18,2	86,7	63,4	39,2	17,7	1220	898	435	122	3,94	2,88	1,78	0,80
23	12,87	20,9	17,4	11,4	4,6	14,7	15,1	16,7	18,6	101,4	76,8	49,5	23,8	1235	968	518	170	4,41	3,34	2,15	1,03
24	13,44	22,9	19,7	13,7	6,3	15,3	15,6	17,1	18,9	116,7	91,1	61,0	31,0	1246	1025	597	224	4,86	3,79	2,54	1,29
25	14,00	24,8	21,9	16,1	8,2	15,9	16,2	17,5	19,3	132,6	106,2	73,6	39,3	1251	1070	668	282	5,31	4,25	2,94	1,57
26	14,55	26,6	24,0	18,5	10,3	16,5	16,7	17,9	19,6	148,9	121,9	87,1	48,6	1253	1103	731	340	5,73	4,69	3,35	1,87
27	15,09	28,4	26,1	20,8	12,4	17,0	17,2	18,4	19,9	165,4	138,1	101,3	58,9	1252	1127	786	397	6,13	5,12	3,75	2,18
28	15,61	30,1	27,9	23,0	14,5	17,5	17,6	18,8	20,3	182,1	154,6	116,1	70,1	1248	1142	831	451	6,50	5,52	4,15	2,50
29	16,13	31,6	29,7	25,0	16,7	18,0	18,1	19,1	20,6	198,8	171,3	131,4	82,1	1242	1151	868	501	6,85	5,91	4,53	2,83
30	16,63	33,1	31,3	26,9	18,7	18,5	18,6	19,5	20,9	215,4	187,9	147,0	94,6	1234	1153	897	546	7,18	6,26	4,90	3,15
31	17,13	34,5	32,8	28,6	20,7	18,9	19,1	19,9	21,2	231,9	204,6	162,7	107,7	1224	1151	919	585	7,48	6,60	5,25	3,47
32	17,61	35,7	34,2	30,2	22,5	19,4	19,5	20,3	21,5	248,2	221,0	178,5	121,2	1213	1145	935	618	7,75	6,91	5,58	3,79
33	18,08	36,9	35,5	31,7	24,2	19,8	20,0	20,7	21,8	264,2	237,3	194,2	134,9	1201	1136	945	646	8,01	7,19	5,88	4,09
34	18,55	38,0	36,7	33,1	25,8	20,2	20,4	21,0	22,1	280,0	253,2	209,8	148,8	1188	1124	951	669	8,23	7,45	6,17	4,38
35	19,00	39,1	37,8	34,3	27,2	20,6	20,8	21,4	22,5	295,4	268,9	225,1	162,8	1174	1110	954	688	8,44	7,68	6,43	4,65
36	19,44	40,0	38,8	35,4	28,6	21,0	21,2	21,7	22,7	310,5	284,1	240,2	176,7	1160	1096	953	702	8,62	7,89	6,67	4,91

Annexe U (fin). Table de rendement pour les plantations d'épinette blanche avec un IQS de 14 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare)

Âge de la plantation	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m^2/ha)				Dhp (cm)				Volume sans écorce (m^3/ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m^3/ha)			
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm
37	19,87	40,9	39,7	36,4	29,7	21,3	21,6	22,1	23,0	325,2	299,0	255,0	190,6	1146	1080	950	713	8,79	8,08	6,89	5,15
38	20,29	41,7	40,5	37,3	30,8	21,7	22,0	22,4	23,3	339,6	313,5	269,5	204,3	1132	1064	944	721	8,94	8,25	7,09	5,38
39	20,70	42,5	41,3	38,2	31,8	22,0	22,4	22,8	23,6	353,6	327,6	283,5	217,8	1118	1047	937	726	9,07	8,40	7,27	5,58
40	21,10	43,2	42,0	38,9	32,7	22,3	22,8	23,1	23,9	367,3	341,3	297,2	231,1	1104	1030	929	729	9,18	8,53	7,43	5,78
41	21,49	43,8	42,7	39,6	33,5	22,6	23,2	23,4	24,2	380,5	354,6	310,5	244,0	1090	1013	920	730	9,28	8,65	7,57	5,95
42	21,87	44,5	43,3	40,3	34,2	22,9	23,5	23,7	24,5	393,4	367,4	323,3	256,7	1077	996	910	729	9,37	8,75	7,70	6,11
43	22,24	45,0	43,9	40,9	34,9	23,2	23,9	24,0	24,7	406,0	379,9	335,8	269,0	1063	979	900	727	9,44	8,84	7,81	6,26
44	22,60	45,6	44,4	41,4	35,5	23,5	24,2	24,3	25,0	418,2	392,0	347,9	281,0	1050	963	889	724	9,50	8,91	7,91	6,39
45	22,95	46,0	44,9	41,9	36,0	23,8	24,6	24,6	25,2	430,0	403,7	359,6	292,6	1037	947	879	720	9,56	8,97	7,99	6,50
46	23,29	46,5	45,4	42,4	36,5	24,0	24,9	24,9	25,5	441,5	415,1	370,8	303,9	1025	931	868	715	9,60	9,02	8,06	6,61
47	23,62	46,9	45,8	42,8	37,0	24,3	25,2	25,2	25,7	452,7	426,1	381,8	314,8	1013	916	857	710	9,63	9,06	8,12	6,70
48	23,94	47,3	46,2	43,2	37,4	24,5	25,6	25,5	26,0	463,5	436,7	392,3	325,4	1001	901	846	705	9,66	9,10	8,17	6,78
49	24,26	47,7	46,6	43,5	37,8	24,8	25,9	25,8	26,2	474,1	447,0	402,5	335,6	990	887	835	699	9,67	9,12	8,21	6,85
50	24,56	48,1	46,9	43,9	38,1	25,0	26,2	26,0	26,5	484,3	457,0	412,4	345,4	979	873	825	693	9,69	9,14	8,25	6,91
51	24,86	48,4	47,3	44,2	38,4	25,2	26,5	26,3	26,7	494,3	466,7	421,9	355,0	969	860	815	687	9,69	9,15	8,27	6,96
52	25,15	48,7	47,6	44,5	38,7	25,4	26,7	26,5	26,9	503,9	476,1	431,1	364,2	958	847	805	681	9,69	9,16	8,29	7,00
53	25,43	49,0	47,9	44,8	39,0	25,7	27,0	26,8	27,1	513,3	485,2	440,0	373,0	949	834	795	675	9,69	9,16	8,30	7,04
54	25,71	49,3	48,1	45,1	39,3	25,9	27,3	27,0	27,3	522,4	494,1	448,6	381,6	939	822	785	669	9,67	9,15	8,31	7,07
55	25,97	49,6	48,4	45,3	39,5	26,1	27,6	27,3	27,5	531,3	502,6	456,9	389,9	930	811	776	663	9,66	9,14	8,31	7,09
56	26,23	49,8	48,6	45,5	39,7	26,2	27,8	27,5	27,7	539,9	510,9	465,0	397,8	921	800	767	657	9,64	9,12	8,30	7,10
57	26,48	50,1	48,9	45,8	39,9	26,4	28,1	27,7	27,9	548,3	519,0	472,8	405,5	913	789	758	651	9,62	9,11	8,29	7,11
58	26,73	50,3	49,1	46,0	40,1	26,6	28,3	27,9	28,1	556,4	526,8	480,3	413,0	905	779	750	645	9,59	9,08	8,28	7,12
59	26,97	50,5	49,3	46,2	40,3	26,8	28,6	28,2	28,3	564,3	534,5	487,6	420,1	897	769	742	640	9,57	9,06	8,27	7,12
60	27,20	50,7	49,5	46,4	40,5	26,9	28,8	28,4	28,5	572,0	541,8	494,7	427,1	889	760	734	634	9,53	9,03	8,25	7,12

RECYCLÉ
Papier fait à partir de matériaux recyclés
FSC® C021757

MARQUIS
Marquis imprimeur inc.
Québec, Canada
2010

Imprimé sur du papier Silva Enviro 100% postconsommation traité sans chlore, accrédité Éco-Logo et fait à partir de biogaz.

100%
PERMANENT
BIO GAZ

L'étude de la croissance et du rendement des plantations menée par la Direction de la recherche forestière procure des informations essentielles à un aménagement efficace des ressources forestières du Québec. Les résultats qui découlent de ces recherches peuvent servir, notamment, à élaborer des plans d'aménagement forestier, à déterminer la possibilité annuelle de coupe, à mener diverses études économiques ou encore à choisir les essences et les densités de reboisement de même que les traitements sylvicoles appropriés.

Ressources naturelles et Faune
Québec

Le papier des pages intérieures de ce Mémoire de recherche forestière est fabriqué à 100% avec des fibres recyclées.